



Farklı Kaynaklara Entegre İşitme Testi Cihazı Tasarımı

Audiometer Device Design with Integration to Different Sources

Yalçın İşler¹, Yiğit Ömer Uzun²

¹Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye
islerya@yahoo.com

²Biyomedikal Teknolojileri Anabilim Dalı, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye
yigitomeruzun@hotmail.com

Özetçe—Ticari amaçla üretilmiş olan odyometre cihazları sadece önceden tanımlanmış belirli testleri yapabilmektedir. Bu çalışmada mikrodenetleyici tabanlı dokunmatik ekran ile kontrol edilebilen her iki kulağa farklı ses sinyalleri uygulayabilen, ayrıca cihaz hafızasına kayıtlı ses sinyalleri aktarabilen bir cihaz tasarlanmıştır. Cihaz aynı zamanda diğer profesyonel cihazların çıkışlarını şekillendirebilme yeteneğine de sahiptir. Test ile eş zamanlı olarak odyogram eğrisi oluşturmakta ve hasta tepkisi ekranda gözlemlenmektedir. Bu özelliklerle yapılan tasarım piyasadaki ürünlerle rekabet edebilir ve odyoloji alanında yapılacak akademik çalışmalarda çözümler üretebilecek düzeydedir.

Anahtar Kelimeler — İşitme testi; odyometre; tıbbi cihazlar.

Abstract—Commercial audiometers are able to conduct specific predefined tests only. In this study, a microcontroller-based audiometer, which is controllable via a touch screen and capable of supplying different sounds that are saved in a memory card or real-time generated to both right and left ears, is designed. This device can be adapted to the output of other commercial device at the same time. It can draw audiogram on real time and show the reaction of patient on the screen. In conclusion, this device can be competitive to commercial devices and may be used in academic researches.

Keywords — Hearing test; audiometer; medical devices.

I. GİRİŞ

Odyoloji alanına yönelik ticari bir ürün olarak piyasada bulunan tıbbi cihazların büyük çoğunluğu klinik amaçlı olarak sınırlı testleri uygulamaya yönelik geliştirilmiş olup bu cihazların üretici tarafından belirlenen amaçlar dışında kullanma olanağı sunulmamaktadır [1]. Bu durum özellikle sınırlı bütçelerle yürütülen bilimsel araştırmaların deneysel tasarımlarında ciddi sınırlılıklar getirmekte ve ortaya çıkartılan araştırmanın niteliğini düşürmektedir. Odyoloji

klินิกlerinde kullanılan cihazlara harici olarak eklenebilecek devre tasarımlarıyla bu cihazların yetenekleri artırılabilir, klinisyen ya da araştırmacının gereksinimleri doğrultusunda kullanım kapasitesi artırılabilir [2,3].

Bu tasarımda amaç TS 9595-1 EN 61645-1 (Elektroakustik – İşitme Cihazları – Bölüm 1: Saf Ton Odyometreler standardı) referans alınarak diğer odyometre cihazlarına entegre olabilen saf ses odyometre cihazı tasarlamaktır. Böylece cihazların yetenekleri düşük bütçelerle geliştirilerek bilimsel araştırmaların yapılmasında önemli ölçüde kolaylıklar sağlayacaktır.

A. Kulak Fizyolojisi ve İşitme

Kulak; dış kulak, orta kulak ve iç kulak olmak üzere 3 kısımdan meydana gelmektedir (Şekil 1). Burada dış kulak diye adlandırılan ve kulak kepçesinden kulak zarına kadar olan kısım, hava titreşimlerinin kulak zarına ulaşması ve kulak zarının toz gibi dış etkenlerden korunmasını sağlar. Orta kulak, kulak zarından işitme organı diye adlandırılan salyangoza (Cochlea) kadar olan kısımdır. Orta kulakta sesi iletimini sağlayan çekiç, örs ve üzengi olmak üzere üç kemik bulunur. Bu kemikler kulak zarından gelen titreşimleri iç kulaktaki salyangoza iletirler. İletim yuvarlak pencere ve oval pencere olmak üzere iki yolla gerçekleşir. Burada yuvarlak pencere sesin hava yoluyla iletildiği kısımdır. Oval pencere ise sesi kemik yolu üzerinden işitme organına ulaştırır. Sesin hava ve kemik yolunda iletim hızları farklı olduğu için bu durum iki iletim arasında faz farkı olmasına neden olur. Ses dalgaları, farklı fazlarda iletildiği zaman, işitme organında oluşan aksiyon potansiyellerin optimum seviyede olduğu tespit edilmiştir. Orta kulağın önemli bir yapısı olan östaki borusu orta kulak ile boğaz arasında bağlantı oluşturur. Bu sayede dış ortam ile orta kulak arasında basınç farkının oluşması engellenmiş olur. İç kulak içerisinde semisirküler kanallar, işitme organı ve işitme sinirleri vardır. İşitme organı



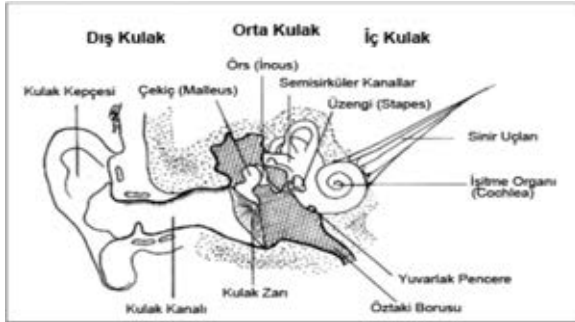
Cihaz Tasarımı 1

1. Gün / 27 Ekim 2016, Perşembe

içerisinde yer alan saçlı hücreler ile ses sinyali aksiyon potansiyellerine dönüştürülür [4]. İnsanda akustik enerjinin 'ses' olarak algılanması olayına işitme denilir. İnsanlar 20 ile 20 000 Hz arasındaki frekansları işitebilirler.

İnsanlarda ses enerjisinin algılanması hava ve kemik yolu aracılığı ile gerçekleşir. İletim yolları açısından bakıldığında odyometrik testleri hava yolu (Air Conduction - AC) ve kemik yolu (Bone Conduction - BC) olmak üzere ikiye ayrılır. Hava yolunda; dış kulaktan başlayıp, kulak zarı ve kemikçik zinciri yoluyla oval pencere ve yuvarlak pencerede biten ses enerjisinin iletimi söz konusudur. İşitme organı en büyük duyarlılığı bu yolla gelen uyarılara gösterir. Kemik yolunda ise; işitme organı çevresindeki kortikal kemik yapının iletmış olduğu ses enerjisi ile uyarılmaktadır [4].

Kemik yolu ile iletilen ses enerjisi, yönüne bakılmaksızın her iki kulakta da yaklaşık aynı şiddette işitme organını uyarır. Bu nedenle bazı odyolojik testlerde sağlam kulağın (daha iyi duyan kulak) maskeleyen sesleriyle maskelenmesi gerekebilir. Maskeleyen işlemi, teste tabi tutulan kulağa uygulanan ses enerjisinin diğer kulak tarafından duyulmasını engeller. Kemik yolunun bu özelliği sayesinde alından gönderilen ses titreşimlerinin hasta tarafından her iki kulakta da eşit duyulmaması kulaklardan birinin diğerine göre işitme kaybının olduğunu gösterir [4].



Şekil 1. Kulak fizyolojisi

B. İşitme Kayıpları

İnsanların işitme becerilerinde yüksek seslere maruz kalma, enfeksiyonlar, baş yaralanmaları, beyin hasarı veya bazı kalıtsal hastalıklar nedeniyle azalma olabilir [6]. İşitme kaybının en sık rastlanan nedeni aşırı gürültüye maruz kalmaktır. Bu gürültü silah atışı gibi tek bir yüksek ses ya da uzun bir süre maruz kalınan yüksek sesler olabilir. Yüksek desibelli sesler, iç kulaktaki tüylü hücreleri gereğinden fazla uyarıp bu hücrelere zarar verir. Kulağa uygulanan ses şiddetine göre kulakta işitme kaybı oluşması için gereken süreler her 5 dB'lik ses şiddeti artışında yarıya düşmektedir (Tablo 1).

C. Odyoloji

İnsanda kulağın işitme fonksiyonlarının incelenmesi amacı ile yapılan tetkikler odyometri olarak bilinir.

Odyometri kişinin işitsel uyarılara göstereceği tepkinin izlenmesi yoluyla, işitme yeteneğinin ölçülmesi için uygulanan bir 'psikofizik girişim' olarak da tanımlanabilir. İşitmeyi inceleyen bilim dalına odyoloji, işitme ölçümlerini yapan uzmanlaşmış kişilere de odyolog denir[4].

Tablo 1. Ses şiddetine göre işitme kaybı oluşabilecek süreler

Ses şiddeti	Süre
95 dB	4 saat
100 dB	2 saat
110 dB	30 dakika
120 dB	7,5 dakika

Odyolojik inceleme yöntemleri Tonal Odyometri (Saf Ses Eşik Odyometrisi, Eşik Üstü Testler), Konuşma Odyometrisi (İnsan sesinin uyarıcı olarak kullanıldığı) ve Objektif Odyometri (Admittansmetri, Elektrokokleografi ve İşitsel Uyarılmış Beyin Sapı Potansiyel Testi) şeklindedir.

D. Odyometre

Odyometre, odyolog tarafından işitme testinin gerçekleştirildiği elektronik bir cihazdır. Odyometre farklı frekans ve şiddette sahip saf sinüs tonlarını üretir. Aynı zamanda geniş bant (beyaz gürültü) ve dar bant (pembe gürültü) olmak üzere gürültü sinyalleri üretebilmektedirler. Bu temel özelliklerin yanında kullandıkları yerlere göre odyometreler değişik özelliklere sahiptirler. Odyometre çeşitlerine bağlı olmaksızın her odyometrede bulunması gereken temel üniteler vardır [5]: Osilatör Ünitesi, Kontrol Ünitesi ve Genlik Ayar Ünitesi.

Osilatör devreleri odyometride kullanılan 125, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000 ve 8000 Hz saf ton frekansları üretirler. Bazı odyometrelerde standart frekansların yanında daha yüksek frekanslarda sinyallerde üretilmektedir [1].

Genlik kontrol ünitesi genellikle 5dB aralıklar ile -10dB'den çıkış frekansına ve kullanılan dönüştürücü tipine göre izin verilen maksimum ses şiddetine kadar ses sinyalinin genliğini değiştirir. Kulaklık çıkışında izin verilen maksimum genlik değerleri; 125Hz'de 85dB, 250Hz 'de 105dB, 500Hz ile 4000Hz arasında 120dB, 6000Hz ve 8000Hz frekanslarında 110dB şeklindedir. Kemik yolu çıkışında izin verilen maksimum genlik değerleri; 500Hz'de 65dB, 1000Hz ile 4000Hz arasında 80dB şeklindedir. İnsan kulağı 1dB ses şiddetindeki artış ve azalmaları algılayamamasına rağmen orta kulaktan kaynaklanan bozukluklarda bu ses artışı algılanabilmektedir. Bu gibi özel testlerin de gerçekleştirilebilmesi için bazı odyometreler 5dB'den daha az miktarda ses şiddetinin değiştirilmesine izin verirler.

Kontrol ünitesi, hastaya gönderilecek ses sinyalinin kontrolünü sağlar. Genellikle cihaz üzerinde bulunan bir kontrol butonuna basılı tutulduğu müddetçe, ayarlanan ses sinyalleri hastaya ulaşmaktadır [1,2,3].

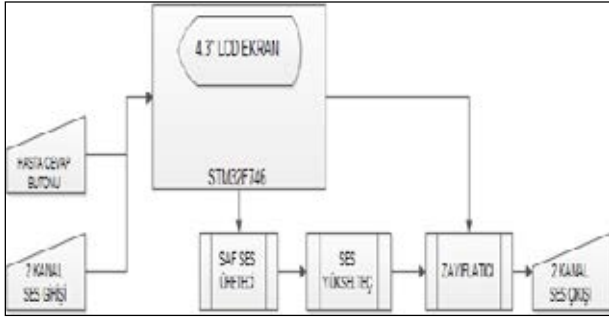
Cihaz Tasarımı 1

1. Gün / 27 Ekim 2016, Perşembe

II. TASARIM

A. Donanım

Cihazın tasarımında kontrol kartı olarak STM32F746 geliştirme kiti kullanılmıştır. STM32F746 geliştirme kiti üzerinde 4.3" TFT LCD dokunmatik ekran bulunmaktadır. Cihazın kontrolü için dokunmatik ekran arayüz tasarımı yapılmıştır. Bu kartın tercih edilmesinde en büyük etken ses giriş ve çıkışı, usb bağlantı noktaları ve sd kart girişi bulunmasıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Cihaz akış diyagramı

Ses üretici olarak XR2206 entegresi kullanılmıştır. Ana kontrol kartından gelen komutlar ile XR2206 entegresine bağlı olan dijital potansiyometre ile ses şiddeti ve frekans değerleri ayarlanmaktadır. Cihaza bağlı olarak hastanın tepkisini almak üzere hasta cevap butonu bulunmaktadır. Hastaya uygulanan seslere karşılık hasta cevap butonuna basıldığında eş zamanlı olarak ekran üzerinde odyogram oluşturulmaktadır. Ses üreticinde oluşturulan saf ses şiddeti belirli ses şiddetine yükseltilecek şekilde zayıflatıcı karta iletilir. Zayıflatıcı olarak PGA2311 entegresi kullanılmıştır. Ses şiddetini 96dB kadar zayıflatılabildiği gibi 30dB kadar kuvvetlendirilebilir. Böylece ses çıkışına 0dB ile 110dB arasında ses şiddeti verilebilir. Dış kaynak modunda aktif olan ses girişi direkt olarak zayıflatıcı karta aktarılır ve farklı kaynakların ses kontrolü istenen hassasiyetle yapılabilir.

B. Yazılım

STM32F746 geliştirme kiti kontrol kartı programı C++ dilinde yazılmış olup, ARMmbed programı ile derlenmiştir. Program yazımında STM32F746NG mikrodenetleyicisinin LCD-TFT, Serial Audio Interface (SAI), SD/SDI/MMC Card Host Interface (SDMMC) özelliklerinden yararlanılmış ve özel kütüphane dosyaları oluşturulmuştur. Gerçekleşen yazılım 705 satırdan oluşmakta ve mikrodenetleyici belleğinde 118 kB yer kaplamaktadır.

C. Uygulanabilen Testler

Tasarlanan cihaz ile iki çeşit test uygulanabilmekte ve bunun yanında farklı kaynağa entegre ses kontrolü yapılabilmektedir. Test sonlandığında ise ekranda odyogram eğrisi oluşturulur. Tasarlanan ara yüzde üç adet çalışma modu bulunmaktadır:

1) Manual test:

Osilatörün ürettiği saf ses dokunmatik ekranda ayarlanan frekans ve şiddette hasta kulağına iletilir. Sesin hangi kulağına verileceği ekranın sağ üst tarafında bulunan right ve left butonlarıyla seçilmektedir. Aktif olan çıkış Left->mavi,Right->kırmızı renk olur ve pasif çıkış siyah renk olur. Eğer maskeleme yapmak istenirse beyaz veya pembe gürültü ekrandan seçilerek ve istenen şiddette ayarlanarak "on" tuşuna basılarak aktif hale getirilir. Cihaz üzerinde bulunan ses verme butonuna basılı tutulduğu sürece hasta kulağına ses verilmektedir. Hasta cevap butonuna basıldığında ekranda bulunan grafikte eş zamanlı olarak;

Sağ-> o maskeli sağ-> Δ

Sol-> x maskeli sol-> □ işaretleri yerleştirilir.

2) Otomatik Test:

Otomatik test olarak Hughson Westlake oto saf ses testi uygulanır. Start test tuşuna basıldığında sağ kulaktan başlayarak hastaya 40dB ve 1000Hz den başlayarak osilatörde üretilen saf ses iletilir. Hasta cevap butonuna bastığında ses şiddeti 10dB düşürülür. Hasta cevap vermediğinde ise ses şiddeti 5dB artırılır. Hastaya iletilen eşit şiddette ve yükselen kenarda olan 3 sinyalin en az 2 sinde hastadan tepki alındığı anda o nokta eşik değeri olarak işaretlenerek, bir sonraki frekans değerine geçilir ve 40dB ses şiddetinden başlayarak aynı yöntem uygulanır. Frekans değerleri sırasıyla 1000Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz, 500 Hz ve 250 Hz olarak ayarlanır. Sağ kulak testi tamamlandıktan sonra otomatik olarak sol kulağına geçilerek işlem tamamlanır.

3) Ses Kontrol (Dış Kaynak):

Cihaz üzerinde bulunan ses girişlerine başka bir odyometre cihazı veya ses kaynağı bağlanır. Kaynak olarak ekranda external (dış kaynak) seçilir. Eğer, maskeleme yapmak istenirse kaynak olarak Beyaz veya Pembe gürültü sinyalleri seçilebilir. Kanallara gelen ses kaynağının şiddeti ayarlandıktan sonra istenen çıkış şiddeti 1 dB hassasiyet ile ayarlanabilir.

III. SİSTEMİN ÇALIŞMASI

Tasarlanan cihaz gönüllü iki denek üzerinde başarıyla test edilmiş ve gönüllülere işitme testleri hem elle hem de otomatik olarak uygulanabilmektedir. Uygulama adımları ve elde edilen sonuçlara dokunmatik ekran görüntüleri kayıt edilmiştir.

Manuel kontrol modunda cihaz saf ses üretici ile istenilen şiddette ve frekans değerinde ses üretebilmekte ve seçilen kanal yoluyla hasta kulağına iletilmektedir. Ayrıca, maskeleme de yapılabilmektedir. Maskeleme sesleri cihazda bulunan hafıza kartına kayıtlı olup seçim yapılabilmektedir. Otomatik test modunda ise test başlatıldıktan sonra çeşitli frekans ve şiddetteki saf sesler hastaya iletilir. Dış kaynak modu seçildiğinde cihaz üzerinde bulunan ses girişleri aktif hale getirilir. Girişe uygulanan ses şiddeti değeri girilir. Ses çıkış şiddeti

Cihaz Tasarımı 1

1. Gün / 27 Ekim 2016, Perşembe

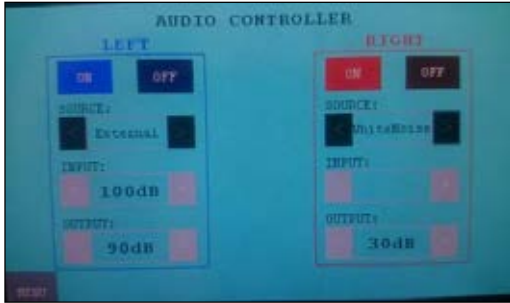
istenilen seviyede ayarlanarak hastaya uygulanır (Şekil 3). Test sonucu hasta tepkisi ile eş zamanlı olarak grafik üzerinde işaretlenerek odyogram eğrisi oluşturulur (Şekil 4).



(a)

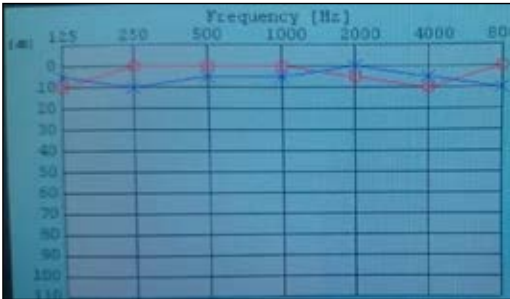


(b)



(c)

Şekil 3. Kontrol Ekranı (a) Manuel, (b) Otomatik, (c) Dış Kaynaklı



Şekil 4. Odyogram eğrisi

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada mikrodenetleyici tabanlı dokunmatik ekran ile kontrol edilebilen her iki kulağa farklı ses

uygulayabilen, ayrıca kayıtlı olan ses dosyalarını aktarabilen hem bağımsız hem bilgisayar kontrollü çalışabilen, hem de diğer cihazların çıkışını kontrol edebilen hibrit bir cihaz tasarlanmıştır. Cihaz tasarımında daha önce yapılan çalışmalarımız geliştirilerek ilerlenmiştir. Tuş takımı yerine sonuç raporu gözlemlemeyi daha kolay hale getirebilmek amacıyla STM32F746 geliştirme kiti kullanılmıştır. Böylece üzerinde bulunan dokunmatik ekran sayesinde daha kompakt yapıda bir tasarım elde edilmiştir.

Cihaz belirli görevleri yerine getiren istasyonlardan oluşmaktadır. Kullanıcı tarafından kontrol kartına verilen komutlar işlenerek saf ses üreticisine iletilmektedir. Böylece istenilen şiddet ve frekansta ses hasta kulağına gönderilmektedir. Kulak seçimi zayıflatıcı kartta bulunan PGA2311 entegrasyonu ile yapılmaktadır. Ses 2 kanalda bağımsız olarak kontrol edilebilmekte ve istenilen hassasiyette ses ayarı yapılabilmektedir.

Tasarlanan cihazın ses sinyalleri osiloskop ile başarıyla gözlemlenmiş olup cihaz Dokuz Eylül Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Kliniğinde bulunan ticari bir ürünle karşılaştırılmıştır. Ayrıca akademik bir çalışmada başarıyla kullanılmıştır. Hearlab ACA cihazına entegrasyonu sağlanıp başarılı bir şekilde 1dB hassasiyetle ses kontrolü ile maskeleye yapılmıştır.

Bu tasarım sonucunda ortaya çıkan prototipin en önemli özelliği ticari amaçla üretilmiş tarama odyometrelerinden ayrı özelliklere sahip olması yanında diğer kaynaklara entegre olarak cihaz yeteneklerini genişletebilmesidir. Maskeleye özelliği olmayan cihazlara bu özelliği katmak, hafızasına istenilen seslerin yüklenerek testlerde kullanılmasını sağlamak, ticari ürünlerde belirli test prosedürlerinin dışına çıkılmadığından yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Bu tasarım sonucunda çeşitli bilimsel araştırmalar kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: 2016-TYL-FEBE-0031.

KAYNAKÇA

- [1] P. Pande, ve V.P. Aras, "Audiometry techniques, circuits, and systems", M. Tech. Credit Seminar Report, Electronic Systems Group, EE Dept, Bombay, 2003.
- [2] Y. Isler, ve Y.O. Uzun, "Yeni Bir Odyometri Cihazı Tasarımı", 7th National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO2012), Bursa / Turkey, 29 Nov.-1 Dec. 2012.
- [3] Y. Isler, ve Y.O. Uzun, "Designing a New Audiometer Device", The Journal of International Advanced Otolaryngology, vol. 11(Supp. 1), 84, 2015.
- [4] N. Esmer, M.N., Akiner, A.R. Karasalioglu, ve M.R. Saatci, "Klinik Odyoloji", Ozisik Matbacilik, Ankara, 1995.
- [5] S.A. Brad, "Clinical Audiology An Introduction", 2. Baskı, Cengage Learning, Delmar, 2010.
- [6] D. Kemp, "The OAE Story", Otodynamics Ltd., 2003.