

Bağırsak Seslerinin Otomatik Tespiti İçin Biyoakustik Sensör Sistemi

Bioacoustic Sensor System for Automatic Detection of Bowel Sounds

Ahmet Sefa Öztaş¹, Erdinç Türk¹, Ümit Deniz Uluşar², Murat Canpolat³,
Muhittin Yaprak⁴, Seyfettin Kazanır³, Güner Öğünç⁴,
Volkan Doğru⁴, Orhan Can Canagır⁵

¹ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

² Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

³ Biyofizik Anabilim Dalı

⁴ Genel Cerrahi Anabilim Dalı

⁵ Makine Mühendisliği Bölümü

Akdeniz Üniversitesi

umitulusar@akdeniz.edu.tr

Özetçe

Bu çalışma abdominal ameliyat geçirmiş hastalarda bağırsak aktivitesinin başladığının gerçek zamanlı tespitini ve bağırsak ses analizini yapmak amacıyla hazırladığımız biyoakustik sensör sistemi anlatılmaktadır. Literatürde bulunan benzer sistemlerden farklı olarak biyoakustik sensör tasarımında iki adet birbirine ters konumlanmış kapasitif mikrofon kullanıldı. Bu sayede vücut yüzeyinden alınan bağırsak seslerinin gürültüden arındırılması hedeflendi. Bağırsak sesleri genellikle 100 Hz ile 1500 Hz arasında olup 0-20mV genliğindedir. İşlemsel yükselteç devresinin ilk kanalı ile bağırsak sesleri 48 kat kazanarak 0-1 V seviyesine yükseltildi. İkinci kanalında kullanılan mikrofon ile bağırsak seslerine karışabilecek çevresel gürültüler (klinik oda gürültüsü) sisteme dahil edildi. Her iki mikrofondan elde edilen sinyaller daha sonra ADC (NI DAQ Data Acquisition USB 6009) ile sayısallaştırılarak dijital ortama aktarımı sağlandı. Dijital ortama aktarılan bu verilerden sinyalin zamansal ve spektral özellikleri çıkartıldı. Geliştirilen yazılımla sonuçların gerçek zamanlı gözlemlenmesi sağlandı.

Anahtar Kelimeler — biyoakustik sensör; bağırsak sesleri; işlemsel yükselteç; elektronik stetoskop.

Abstract

This study presents a bioacoustic sensor system developed for early detection of the recovery of bowel activity after abdominal surgery and to perform analysis on bowel sounds. Different than other studies, in order to be able to attenuate noise, two capacitive microphones oriented in opposite directions are used. Bowel sounds are typically observed at a frequency between 100 Hz and 1500 Hz and amplitude between 0 and 20mV. The signal strength is boosted 48 times with an amplifying circuit. The second microphone is used to observe environmental noise such as examination room noise. Both signals are digitized using an ADC (NI DAQ Data Acquisition USB 6009). Finally, we developed a software that

can extract spectral properties of the signal and present the results in real time.

Keywords — bioacoustic sensor; bowel sounds; operational amplifier; electronic stethoscope.

1. Giriş

Abdominal cerrahi sonrasında ameliyatın yaratmış olduğu travma ve kullanılan anestezi nedeniyle bağırsak aktivitesinde yavaşlama, durma ve komplikasyonlar oluşabilmektedir [1]. Klinik ortamlarda hastaların durumundaki değişiklikler düzenli kontrollerde bir stetoskop yardımıyla bağırsak sesleri dinlenerek takip edilmektedir. Fakat hastanedeki iş yoğunluğu ve sınırlı sayıda uzman personelin bulunması sebebiyle klinisyenlerin hastaları sık sık muayene etmesi nadiren mümkün olmaktadır. Bağırsak aktivitesinin sürekli takip edilmesiyle hastada oluşabilecek anastomoz kaçağı, pankreas iltihabı gibi çeşitli komplikasyonların erken tespiti mümkün olmaktadır [2]. Bunun yanında bağırsak aktivitesinin tekrar başladığının tespit edilmesi hastaların erken beslenmesine olanak sağlamaktadır. Erken beslemenin çeşitli faydaları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları hastaların iyileşme sürecinin hızlanması, hastanede kalma süresinin kısalması ve ekonomik katkı sağlamasıdır [3].

Osültasyon kayıtlarındaki bağırsak seslerinin otomatik tespiti için çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Uluşar [4] çalışmasında bağırsak seslerinin sınıflandırılması için Naive Bayes algoritmasını, gürültü tespiti içinse Minimum İstatistik ve spektral özellik çıkarma yöntemlerini kullanmıştır. Hadjileontiadis vd. [5] fraktal boyut tabanlı ses kayıtlarının karmaşıklığını değerlendiren bir metod önermiştir. Yöntemde aktivite bölgelerini tespit etmek için sabit eşik değeri kullanılmaktadır. Rekanos vd. [6] yüksek düzey istatistik kullanmayı önermiştir. Fakat bu teknik sınırlı sayıda hastada test edilmiştir ve çevresel etkenlere karşı hassastır.

Bağırsak seslerinin otomatik tespiti için geliştirilmiş yöntemler, gerçek zamanlı olarak bağırsak seslerini

Biyomedikal Ölçüm 1

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

kaydedebilecek ve verilerin işleneceği bilgisayara gönderebilecek bir biyoakustik sensör sisteminden faydalanmaktadır. Sensör geliştirme konusunda yapılan çalışmalardan, Luo [7] çalışmasında kalp sesini, dolaşım ve solunum sesinden ayıran Bluetooth ile haberleşen biyoakustik sensör sisteminin bir prototipini üretmiştir. Johnson vd. [8] çalışmasında, düşük güç tüketen dijital sinyal işleme tabanlı bir biyoakustik sensör sistemi geliştirmiştir. Bu sistem aşırı örnekleme ve filtre bankası kullanarak sinyal işleme yapmaktadır. Belloni vd. [9] ise çalışmasında kalp sesi sinyallerini elde etmek ve analizini yapmak için sinyalleri uyumlandırma algoritması kullanarak bir elektronik stetoskop tasarımı geliştirmiştir.

Bu çalışmada, geliştirdiğimiz, 100-1500 Hz frekans aralığında olan bağırsak seslerinin otomatik tespitini yapan biyoakustik sensör sistemi anlatılmaktadır.

2. Metodoloji

Tasarımda vücut yüzeyinden ses alınması için iki adet birbirine ters yönde yerleştirilmiş mikrofonlar kullanıldı. Mikrofonların bir tanesi biyoakustik sensör sisteminin dış yüzeyine, diğeri ise stetoskop tarafına monte edildi. Alınan sesler işlemsel yükselteç ile yükseltip filtrelendi. İki kanallı bu yükselteçte ilk kanal ile bağırsak seslerinin, ikinci kanal ile çevreden kaynaklı gürültülerin tespiti hedeflendi. Bu sayede bağırsak seslerine karışabilecek çevreden kaynaklı gürültülerin (ortamdan ve hastadan kaynaklanan gürültüler) tespiti sağlandı. İki kanaldan alınmış yükseltelen sesler, bağırsak seslerini otomatik olarak tespit edecek algoritmanın bulunduğu bilgisayara kablolu olarak gönderildi. Gelen seslerin gerçek zamanlı görüntülenmesine, sinyal üstünde filtreleme ve çeşitli analizlerin yapılmasına imkan sağlayan bir yazılım geliştirildi.



Şekil 1: Biyoakustik sensörün ölçüm sırasındaki pozisyonu

Şekil 1 biyoakustik sensörün vücut üzerinde örnek bir yerleşimini göstermektedir. Ölçüm sırasında hasta hareketleri sonucunda ortaya çıkabilecek sürtünme sesini engellemek ve hastanın üstünde sensörün sabit kalmasını sağlamak amacıyla özel çift taşıyıcı elastik dokumasız nem geçiren ve kullanıldığında hastada cilt tahrişi oluşturmayan medikal bir bant hazırlandı.

2.1. Bağırsak Sesinin Özellikleri

Bağırsak aktivitesi sonucunda oluşan ses; durağan olmayan, kısa süreli, çoğunlukla kalp sesi, hareket, nefes alma ve çevresel gürültülerle karışmış bir şekilde gözlemlenir [10]. Tek bir bağırsak sesinin süresi genellikle 0,02 ile 0,1 saniye aralığında gerçekleşir. Bağırsak aktivitesinin yoğunluğuyla aktivite sonucunda oluşan ses doğru orantılı bir şekilde gözlemlenir. Bağırsak sesleri genellikle iki çeşit aktivite grubuna ayrılmaktadır; tek patlama (*Single Burst (SB)*) ve çok patlama sesi (*Multiple Burst (MB)*) [10][11]. Tek patlama sesi

kısa süreli kasılmaların sonucunda oluşur ve ani bir ses yaratır. Çok patlama sesi bir grup tekli patlama sesinin ardı ardına hiç aralık vermeden veya küçük bir boşluk vererek bir araya gelmesiyle oluşur. Sessiz zamanlar (*Quite Periods (QP)*) hiçbir aktivitenin ve gürültünün olmadığı zamanlarda gözlemlenir. Dimoulas vd. çalışmalarında göğüs bölgesinden gelen bütün seslerin örüntü analizinin yapılabilmesi için hiyerarşik bir ses sınıflandırma taksonomisi önermiştir (*Abdominal Sounds Fine Classification (ASFC)*) [12]. Bu sınıflandırma yöntemi sestten elde edilen aktivite süresi, spektral merkez noktası ve spektral bant genişliği gibi çeşitli parametreleri kullanarak sesi, beş adet gürültü sınıfına ayırmaktadır. Belirtilen beş adet gürültü sınıfı şunlardır;

- Eklenen Geniş-Bant Gürültüsü (*Additive Broadband Noise (ABN)*),
- Solunum Gürültüsü (*Respiratory Related Noise (RRN)*),
- Hareket ve Sürtünme Gürültüsü (*Movement and Friction Noise (SN)*),
- Klinik Oda Gürültüsü (*Examination Room Noises (AN)*),
- Kalp Atışı Gürültüsü (*Heart-Beat Related Noise (IHS)*).

Kullanılan ikinci mikrofon ABN ve AN seslerini ayırt etmede etkin olarak kullanılmaktadır. Vücuttan gelen RRN, IHS gibi seslerin tespitinde tek kanal sinyal işleme teknikleri (filtreleme, sınıflandırma, spektral özellikler) kullanılmaktadır [4].

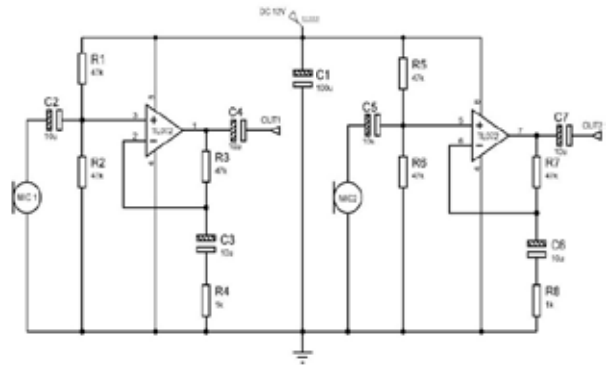
2.2. Donanımsal Özellikler

2.2.1. Sensör

Çalışmamızda çeşitli mikrofon seçenekleri değerlendirildi. Bunlardan kapasitif mikrofonlar genel olarak diğer mikrofonların aksine yüksek hassasiyet ve düşük gürültü tabanı içerdikleri için çalışmamızda tercih edildi.[13]

2.2.2. İşlemsel yükselteç devre tasarımı

Biyoakustik sensör sistemi için seçilen kapasitif mikrofonlar ile elde edilen bağırsak motilite seslerinin genliği 0-20mV arasındadır. Sensör ile elde edilen bu genlikteki seslerin sayısallaştırılması için sinyaller işlemsel yükselteçler ile 0-1V seviyesine yükseltildi. İşlemsel yükselteç için kullanılan kazanç hesabı Denklem 1' de belirtilmektedir.



Şekil 2: 2 kanallı işlemsel yükselteç devre şeması. Devre besleme gerilimi 12 volt olup 100uF bir kondansatör ile filtrelenmektedir. Kaliteli filtreleme için devre üstünde tantal kondansatörler kullanıldı. R3, R4, R7, R8 dirençleri ile her iki kanal için de kazanç değeri 48 olarak ayarlandı (Denklem 1).

Biyomedikal Ölçüm 1

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

$$G(\text{Kazanç}) = \frac{R_3}{R_4} + 1 = 48 \quad (1)$$

Biyoakustik sensör sistemi tasarımında 2 kanallı işlemsel yükselteç olarak TL072 (Texas Instruments, TX, USA) entegresi kullanıldı. Yükselteç devrenin ilk kanalı ile vücut yüzeyinden alınan bağırsak seslerinin yükseltilmesi ve diğer kanal ile bağırsak sesine karışabilecek çevresel gürültülerin elde edilmesi hedeflenmektedir. 1kHz'de $V_n=18nV/\sqrt{\text{Hz}}$ seviyesinde düşük gürültülü TL072 işlemsel yükselteç 12 V besleme gerilimine sahiptir ve ~2,6 mA akım çekmektedir. Şekil-2 tasarlanan elektronik devre şemasını göstermektedir.

2.2.3. Veri iletimi ve sayısallaştırma

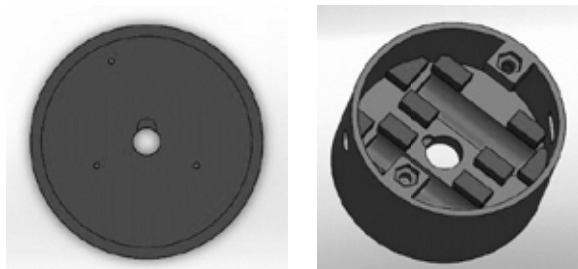
İşlemsel yükselteç ile yükseltilecek ses sinyalleri DAQ (NI-USB 6009) kullanılarak 8192 Hz ile örneklendi. Elde edilen veriler sayısallaştırılarak kablolu olarak iletili. (Şekil 3)



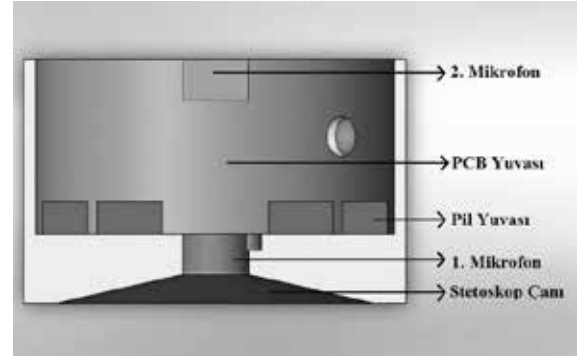
Şekil 3: Biyoakustik sensör sistemi ve DAQ

2.2.4. Mekanik Tasarım

Mevcut stetoskoplar üzerine mikrofonun ve elektronik devrenin entegrasyonu pratik bir çözüm olmadığı için yeni bir dış tasarıma ihtiyaç duyuldu. Bu tasarım 3 bölümden oluşmaktadır; alçak perdeden sesleri yükseltmeye yarayan kısım (stetoskop çanı), elektronik devre kartı (PCB Printed Circuit Board) yuvası, pil yuvası. (Şekil 4, Şekil 5)

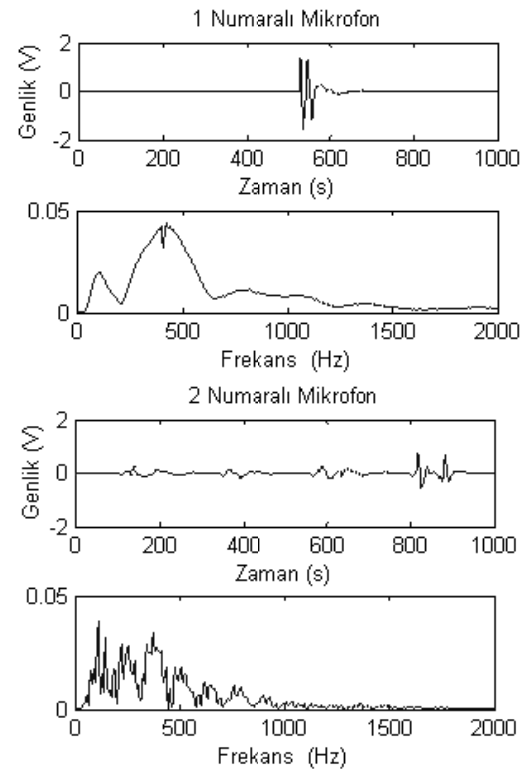


Şekil 4: Stetoskop çanı ve 3d tasarım.



Şekil 5: 3d tasarım yan kesit.

Şekil 5 biyoakustik sensör için tasarlanan mekanik tasarımın yan kesitini göstermektedir. Stetoskop çanı bölgesi hasta derisine özel tasarım bant ile yapıştırılmaktadır. Bu düzenek ile bant diyafram etkisi göstermekte ve stetoskop çanı ise sesin akustik olarak yükselmesini sağlamaktadır. İlk mikrofon stetoskoptan gelen bağırsak seslerinin elde edilmesi için stetoskop çanının içine yerleştirildi. İkinci mikrofon ise birinci mikrofonla zıt yönde ve çevresel gürültüleri elde edebilecek şekilde kutunun dış yüzeyine yerleştirildi. Pil ve PCB kutunun iç kısmına yerleştirildi. İşlemsel yükselteç ile yükseltilecek sesler kablolu olarak DAQ' a aktarılacağı için kutuda PCB'nin yerleştirildiği seviyede kabloların çıkışı yapabileceği bir boşluk oluşturuldu.



Şekil 6: Tek Patlama BS. Elde edilen sinyal 14 bit hassasiyetinde 8192 Hz örnekleme oranı ile örneklendi. 2. Derece Butterworth tipi 100 Hz yüksek geçiren, 1000 Hz alçak geçiren ve 50 Hz Notch filtre kullanıldı.

3. Bulgular

Şekil 6 biyoakustik sensör sistemi ile elde edilen örnek bir ses sinyalinin ve ilgili frekans spektrumunu göstermektedir. Tek patlama sinyalinin sinyal enerjisi net bir şekilde 100-500 Hz aralığında gözlemlenmektedir. Çevresel gürültüden elde edilen sinyallerde sinyalin enerjisi geniş bir aralıkta bulunmakta ve filtre sınırlarına yaklaştıkça gücünü kaybetmektedir. Ayrıca tek patlama sesi gibi bağırsaktan gelen sesler genelde sessiz bir periyodun sonucunda aniden oluşan sesler şeklinde gözlemlenmektedir. İkinci mikrofondan elde edilen sinyal üstünde bağırsaktan gelen seslerin izi gözlemlenmemektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, bağırsak aktivitesinin takibi için geliştirdiğimiz biyoakustik sensör anlatıldı. Oluşturulan sistem ile çevresel gürültünün algılanması ve sürekli gözlem yapılması mümkün olmaktadır. Çalışma kapsamında, donanıma uygun bir yazılımla elde edilen sinyaller görselleştirildi ve çeşitli analizlerin yapılabilmesine uygun hale getirildi.

İlerleyen çalışmalarda, klinik ortamda kullanılması hedeflenen biyoakustik sensör sisteminin hasta ve klinisyen için daha rahat kullanıma sahip olması hedeflenecektir. Bu kapsamda ilk olarak dış sistem boyutlarının daha küçük olması ve veri aktarımı için kablosuz bir teknoloji kullanılması düşünülmektedir. Bu amaç doğrultusunda elektronik devre kartının boyutlarının küçültülmesi için çalışmalar yürütmekteyiz. Ayrıca sistemde daha yüksek kapasiteli ve daha küçük boyutlu pil kullanılabilir. Klinik ortamda kablolu sistem kullanımı rahatsız koşullara sebep olabilmektedir. Bu sebeple kablosuz veri aktarımı bir sonraki adım olarak düşünülmektedir.

5. Kaynakça

- [1] S. J. Lewis, M. Egger, P. A. Sylvester, ve S. Thomas, "Early enteral feeding versus 'nil by mouth' after gastrointestinal surgery: systematic review and meta-analysis of controlled trials", *BMJ*, c. 323, sayı 7316, s. 773, Eki. 2001.
- [2] A. C. J. Windsor, S. Kanwar, A. G. K. Li, E. Barnes, J. A. Guthrie, J. I. Spark, F. Welsh, P. J. Guillou, ve J. V. Reynolds, "Compared with parenteral nutrition, enteral feeding attenuates the acute phase response and improves disease severity in acute pancreatitis", *Gut*, c. 42, sayı 3, ss. 431-435, Mar. 1998.
- [3] D. Schroeder, L. Gillanders, K. Mahr, ve G. L. Hill, "Effects of Immediate Postoperative Enteral Nutrition on Body Composition, Muscle Function, and Wound Healing", *J. Parenter. Enter. Nutr.*, c. 15, sayı 4, ss. 376-383, Tem. 1991.
- [4] U. D. Uluşar, "Recovery of gastrointestinal tract motility detection using Naive Bayesian and minimum statistics", *Comput. Biol. Med.*, c. 51, ss. 223-228, Ağu. 2014.
- [5] L. J. Hadjileontiadis ve I. T. Rekanos, "Detection of explosive lung and bowel sounds by means of fractal dimension", *Signal Process. Lett. IEEE*, c. 10, sayı 10, ss. 311-314, Eki. 2003.
- [6] I. T. Rekanos ve L. J. Hadjileontiadis, "An iterative kurtosis-based technique for the detection of nonstationary bioacoustic signals", *Signal Process.*, c. 86, sayı 12, ss. 3787-3795, Ara. 2006.

- [7] Y. Luo, "Portable Bluetooth Visual Electrical Stethoscope research", içinde *11th IEEE International Conference on Communication Technology, 2008. ICCT 2008*, 2008, ss. 634-636.
- [8] J. Johnson, D. Hermann, M. Witter, E. Cornu, R. Brennan, ve A. Dufaux, "An Ultra-Low Power Subband-Based Electronic Stethoscope", içinde *2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2006. ICASSP 2006 Proceedings*, 2006, c. 3, ss. III-III.
- [9] D. D. G. F. Belloni, "A new digital stethoscope with environmental noise cancellation", 2010.
- [10] C. Dimoulas, G. Kalliris, G. Papanikolaou, V. Petridis, ve A. Kalampakas, "Bowel-sound pattern analysis using wavelets and neural networks with application to long-term, unsupervised, gastrointestinal motility monitoring", *Expert Syst. Appl.*, c. 34, sayı 1, ss. 26-41, Oca. 2008.
- [11] R. Ranta, V. Louis-Dorr, C. Heinrich, D. Wolf, ve F. Guillemin, "Digestive Activity Evaluation by Multichannel Abdominal Sounds Analysis", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, c. 57, sayı 6, ss. 1507-1519, Haz. 2010.
- [12] C. A. Dimoulas, G. V. Papanikolaou, ve V. Petridis, "Pattern classification and audiovisual content management techniques using hybrid expert systems: A video-assisted bioacoustics application in Abdominal Sounds pattern analysis", *Expert Syst. Appl.*, c. 38, sayı 10, ss. 13082-13093, Eyl. 2011.
- [13] D. T. Martin, J. Liu, K. Kadirvel, R. M. Fox, M. Sheplak, ve T. Nishida, "A Micromachined Dual-Backplate Capacitive Microphone for Aeroacoustic Measurements", *J. Microelectromechanical Syst.*, c. 16, sayı 6, ss. 1289-1302, Ara. 2007.