

TEMASSIZ EKG ÖLÇÜMÜ

CONTACTLESS EKG MEASUREMENT

Hüseyin AKMAN¹, Gül Fatma TÜRKER², Mesud KAHRİMAN³

^{1,2,3} Elektronik Haberleşme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi
Süleyman Demirel Üniversitesi

huseyinakman1983@gmail.com.tr, gulturker@sdu.edu.tr, mesudkahrیمان@sdu.edu.tr

Özetçe

Kullanım alanlarından dolayı son dönemde kablosuz sistemler büyük bir gelişme kaydetmiştir. Düşük gürültülü yükselteçler (low noise amplifiers-LNA) alıcılarda kullanılan en önemli kısımlardan biridir. LNA radarlarda, mikro dalga haberleşmede, savaş durumlarında, yüksek doğruluklu mikro dalga ölçüm sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır. LNA performansı alıcı sistemin tamamını etkiler ve bu nedenle mükemmel LNA geliştirmek vazgeçilmezdir. Ayrıca son yıllarda mikroşerit antenlerin uzay araçları, uçaklar, radarlar, uydu haberleşmesi, güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda kolaylıkla kullanılabilir olması, kolay üretilebilir olması nedeni ile çok kullanılan anten tasarımları arasında yer almaktadır.

Kablosuz olarak EKG ölçümünün yapılması, doğal afetlerde canlı insanların saptanmasında, anti terörist operasyonlarda bina içerisindeki insanları tespit etmede, hassas veya yaralı cildi olan yetişkin ve bebeklerde kullanımının gerekli olmasından önem arz etmektedir. Doppler Radar sistemleri ile EKG ölçümlerinde, ölçüm mesafesinin artırılması ile kablosuz EKG ölçüm kullanımının iyileştirilmesi yapılmalıdır. Çalışmamızda temassız EK' nin önemi ve yapılan çalışmalar hakkında derleme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: EKG, Doppler Radar, LNA, Mikroşerit Anten

Abstract

Wireless systems have recently received a great deal of interest because of their usage. Low noise amplifiers are the most important components of the receiver front end. It has been commonly used in microwave communication, radar, electronic warfare, and a variety of high precision microwave measurement system. LNA performance directly affects the receiving system, so it is indispensable to develop excellent low noise amplifier. Also because of usage in military services as spacecrafts, air planes, radars, satellite communication, guided missile and easy production, patch antennas has been taken part in antenna designing in recent years.

Contactless ECG monitoring is important because it is used for determining alive people in earthquake, finding people in anti-terrorism operations, babies and adults who has sensitive or damaged skin. Improvement must be done in doppler radar ECG monitoring by increasing the measurement distance. In our study importance of the ECG and the studies don before is reviewed.

Keywords: ECG Doppler Radar, LNA, Mikrostrip Antennas

1. Giriş

1970'li yıllarda Doppler radarın biyomedikal alanında kullanılmaya başlanmasıyla beraber EKG, EEG ve EMG sinyallerinin ölçülmesi, solunum hızı gibi pek çok değer hastaya fiziki bir temas olmaksızın ölçülebilir hale gelmiştir. 1970'lerden bu yana CW radarları kardiyopulmoner aktivitelerini görüntülemeye ve deprem göçüklerinin altında canlı araştırmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Bu gelişmelerle beraber uzaktan biyomedikal ölçüm konusu (özellikle doppler radar kullanılarak) temas halinde sakınca bulunan bulaşıcı/salgın hastalık durumlarında, derisi tahriş olan (özellikle yeni doğan bebekler) hastalarda, arada engel olduğu için teması mümkün olmayan kişilerde, sürekli takibi gereken hastalarda ve buna benzer durumlarda kullanılmak üzere sürekli ilgi çeken ve araştırılan bir konu haline gelmiştir.

Sağlık parametrelerinin görüntülenmesine ve kaydedilen verilerin sağlık teknisyenine gönderilmesine imkan veren uygulamalar için büyüyen bir pazar vardır [2]. Son yıllarda ise giyilebilir görüntüleme sistemleri üzerindeki araştırmalar oldukça dikkat çekmektedir [3].

2. Temassız EKG

Dünyada her yıl binlerce insan geç kalınmış müdahalelerden, kronik rahatsızlıklardan ve diğer bir etken olarak sağlık hizmetlerindeki yetersizlikten dolayı hayatını kaybetmektedir. Günümüzde insanların sağlık hizmetine yönelik artan bir beklentisi vardır. Yapılan araştırmalar neticesinde 2050 yılında Avrupa nüfusunun %40'ının 65 yaş üzerinde olması beklenmektedir. İnsan nüfusunun yaş ortalamasının yükselmesi ve koroner kalp rahatsızlıklarının, dünya genelindeki ölümlerin sebepleri arasında ilk sırada gelmesi düşünüldüğünde, her yıl yaklaşık 7.2 milyon insan yaşamını çeşitli kalp rahatsızlıklarından dolayı kaybetmesinden dolayı ilk olarak kalp hareketlerinin izlenmesi önem kazanmıştır [1]. Elektrokardiyogram (EKG) işareti kalbin elektriksel aktivitesini gösteren ve kalp hastalıklarının teşhis edilmesinde ve izlenmesinde çok sık kullanılan elektriksel işaretlerdir [2]. EKG, cilde yapıştırılan elektrotlar aracılığı ile grafik olarak kalbin elektriksel aktivitesini (kalbin ritmini, frekansını, kalp atışlarının ritmini, yayılmasını ve reaksiyonun tekrar yok olması) kaydeden dalga formudur. Kalbin kulakçık ve karıncıklarının kasılma ve gevşeme evrelerini, kalbin uyarılması ve uyarının iletilmesi sırasında ortaya çıkan elektrik aktiviteyi gözlemlememizi sağlar. Elektrotlardan aldığı potansiyeli kuvvetlendiren ve bugünkü cihazların atası olan vakum lambalı ilk EKG cihazı ise 1928 yılında Ernestine ve Levine tarafından yapılmış, cihazın ağırlığı da 25 kg'a düşürülmüştür. Teknolojik gelişmelerin desteği ile cihazların

Hastalık Tespiti

3. Gün / 17 Ekim 2015, Cumartesi

daha duyarlı ve kullanışlı hale gelmesiyle de sadece EKG değil, Elektroensefalografi (EEG), Elektromiyografi (EMG), Elektrokülogram (EOG) gibi sıklıkla kullanılan biyoelektrik temelli yöntemler, bugün bazı hastalıkların tanısı için tip alanında başvurulan önemli yöntemler olmuştur [4]. Son yıllarda kalp sinyallerinin vücuda teması olmaksızın ölçümü gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bunun için birkaç neden sıralanabilir:

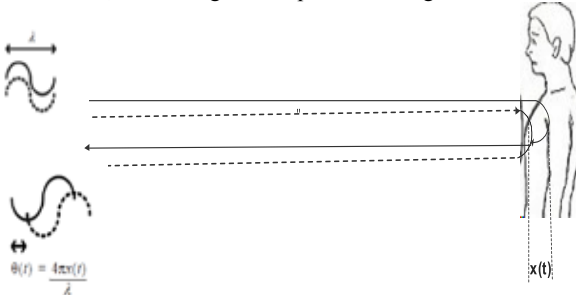
- Kaza, doğal afet, teknik aksaklıklar ile bina göçüklerinin altında kalan canlı insanların saptanmasında kullanılabilir.
- Anti terörist operasyonlar, kanun süreci ile bina içerisindeki insanların parametrelerine bakmak ve hareketlerini tanımlamak için kullanılabilir.
- Uzaktan test sistemi ile görünmeyen insanların fizyolojik durumlarına bakılabilir veya açık güvenlik kontrolleri yapılabilir. Örneğin havaalanlarında olduğu gibi.
- Dokunulması sakıncalı ve bağlantı sensörü kullanılmayan durumlarda olan kalp atışı ve hastaların nefes almasını ölçebilmek için. [5]
- Hassas cildi olan yetişkin veya bebeklerde ciltte oluşabilecek tahrişleri önlemek için (Şekil 2).



Şekil 2. Yenidoğan bebeğin EKG çekimi sonrası derisinde oluşan tahriş[6]

3. Temassız EKG Çalışmaları

Temassız doppler EKG tasarımları genellikle kalp pozisyonu uzaktan algılanarak tasarlanmıştır. Gönderilen dalgaların yansımaları değerlendirildiğinde kalbin konumu hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Gönderilen bir dalga referans amaçlı kullanılarak, ikinci dalga ile kalp konumu değerlendirilebilir.



Şekil 1. Kalbin fiziksel konumuna göre CW (devamlı dalga radarı) Geri yansıyan dalga da oluşan faz farkı ($\Theta(t)$), kalbin konumu $x(t)$ ile doğru orantılıdır [7].

Doppler kayması, yayılan taşıyıcı yüksek frekansıyla (RF) hareketli hedeflerden yansıyan yankı işaretlerinin frekansları arasındaki frekans kaymasıdır. Bu frekans, frekans kayması olayını fark eden fizikçi Chirstian Johann Doppler (1803,1853)'in adıyla anılmaktadır [8].

Temassız EKG sistemlerinde LNA ve mikroşerit antenlerin tasarımı büyük önem arz etmektedir. Tasarım iyileştirmeleri ile Temassız EKG de daha iyi sonuçlar alınabilir.

Radar uygulamalarında LNA, alıcılarda ilk yükselteç grubu olarak kullanılır ve genellikle anten beslemesinin yanına konur. LNA ayrıca alıcı-verici dizi modüllerinin de önemli elemanlarıdır [9]. Düşük gürültülü alıcılarda tüm sistemin gürültü seviyesi, kazancı, geri dönüş kaybı gibi parametrelerin iyi değerlerini elde etmek için LNA anahtar bileşendir [10, 11]. LNA duyarlılığı geliştirmek için düşük gürültü kazancı (noise figüre - NF), karıştırıcının gürültüsünü düşürmek için optimum kazanç, yansıma katsayısını iyileştirmek için geniş band giriş uyumlandırması gibi sınırlayıcı gereksinimleri karşılamak zorundadır [12]. Genellikle kazanç NF, giriş -1dB sıkıştırma noktası, giriş geri dönüş kaybı, çıkış geri dönüş kaybı LNA tasarımında önemli faktörlerdir ama dar band kablosuz haberleşme uygulamaları için NF çok da önemli değildir [12]. Kazanç sistemin gürültü kazancını bastırmaya yardımcı olur ancak diğer taraftan kazanç çok fazla olursa bu da karıştırıcı tarafından üretilen doğrusal olmayan bozulmalara yol açar. LNA sistemi düşük giriş gerilim duran dalga oranına (voltage standing wave ratio -VSWR) ve sistemde kararlılığa sahip olmalı. Doğrusal olmayan karakteristikler içinde NF ve kazanç LNA performansını etkileyen en önemli değerlerdir [13, 14].

Ballistocardiograph (BCG) kalbin ve kanın hareketlerinden meydana gelen 1,20 Hz frekans aralığındaki hayati sinyallerdir. 1930'lu yılların başında Isaac Starr BCG sinyallerinin miyokardi kasılmalarının şiddetini ve kalbin normal ve anormal çalışmalarını gösterdiğini ortaya koymuştur. BCG insan vücudunun yüzeyinden yayılımcı olmayan araçlarla ölçülebilir. Photoplethysmography (PPG) dokunun mikrovasküler yatağındaki kan hacmindeki değişimleri belirlemek için kullanılan basit ve ucuz bir optik tekniktir. Deri yüzeyindeki ölçümler için genelde noninvasif olarak kullanılır [15]. Uzaktan kontrollü, temassız darbe oksimetrisi (Alınan kan numunesindeki oksijen miktarının oksimetre aracılığıyla ölçülmesi) ve PPG görüntüleme yalnızca kısmen araştırılmıştır. Bu araştırmalarda SpO(2) kamera teknolojisi ve üç farklı dalga boyuna sahip LED kullanılmıştır [16]. Henüz denenmemiş, orijinal yüzden ölçüm yapılan yeni bir teknik de geliştirilmiştir. Bu teknikte kör kaynak ayrışımı kullanılmaktadır [17].

Mikroşerit antenlerin küçük boyut, düzlemsel dizayn edebilme, düşük maliyet, uyarlanabilir yapı, kolay üretim ve katı hal aygıtları ile bütünleşebilme gibi birçok avantajları vardır. Bu özelliklerinden dolayı kişisel iletişim sistemleri, mobil uydu haberleşmesi, karasal televizyon yayını, kablosuz yerel alan ağları ve küçük boyutlu anten kullanımı gerektiren diğer minyatür mikrodalga sistemlerinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [18].

Droitcor (2006) doppler radarın kalp ve solunumun ölçülmesi alanında yaptığı çalışmada 0.25 μ m tek çipli CMOS dördün doppler radar sistemi geliştirmiştir. Bu sistemi 22 insan deneneği üzerinde denemiştir. Kalp atış hızını 1 m mesafeden ve nefes alıp verme hızını da 2 m mesafeden doğru şekilde ölçülebildiğini göstermiştir [7].

Droitcor, vd. (2001) yaptığı çalışmada hayati sinyallerin ölçülmesinde doppler radar sisteminde kullanılmak üzere



Hastalık Tespiti

mikrodalga radyo tasarlanmıştır. Bu çalışma ile 1 m mesafeye kadar başarılı sonuçlar alınmıştır [2].

Lubecke, vd. (2002) yaptığı çalışmada hayati sinyallerin temassız bir şekilde algılanması için 10 GHz çalışma frekansında doppler etkisi kullanılmıştır. Bu frekansta derinin ve kasların dielektrik sabiti 40'dır ve sinyaller derinin sadece 3 mm altına erişebilir. Bu ölçümler nefes alıp vermeye ve kalp kaslarının hareketine dayanır. 1.5 m mesafeden yapılan ölçümlerin sonucu tatmin edici düzeydedir [19].

Lubecke, vd. (2002) yaptığı çalışmada 2.4 GHz' de doppler radar prensibi ile çalışan kablosuz haberleşme sonlandırma modülü kullanarak nefes ve kalp aktivitelerini ölçmüşlerdir. Bu modül bir anten ve karıştırma elemanını birleştirerek doğrudan veya geri saçılış iletimi olarak doppler radar prensibiyle hayati sinyal ve nefes hareketleriyle doğru orantılı olan çıkış sinyallerini üretir. Herkesçe bilinen basit bir kablosuz telefon kulaklığı ile gerçekleştirilebilen çok ucuz ve basit bir düzenek yardımı ile hayati sinyaller 1.5 metre mesafeye kadar doğru bir şekilde ölçülebilmektedir [20].

Lubecke, vd. (2005) çoklu nesne tarama için yaptığı çalışmada doppler radar tekniğini kullanmışlardır. Bu teknikte tek ve çoklu anten sistemleri ile SIMO/MIMO işaret işlemeyi kullanarak istenen radar işaretini farklı nesnelere ayırmışlardır. Tekli anten sistemi deneyleriyle iki nesne 1 m mesafeye kadar başarıyla ayırt edilebilmiştir. Ayrıca eğer iki kalp özdeş kardiyovasküler özelliklere sahip olsa bile MIMO tekniği ile bu iki kalp birbirinden ayırt edilebilmektedir [21].

Kim, vd. (2005) yaptığı çalışmada 24 GHz çalışan tek antenli dairesel Kutuplanmış doppler radar sistemi tasarlamışlardır. Bu sistem aracılığıyla hayati sinyaller kalpten 50 cm uzaklıktan ölçülebilmektedir [22].

Kim, vd. (2006) yaptığı çalışmada 5.8GHz çalışma frekansında kablosuz sağlık görüntülemesinde kullanılan doppler radar yapılarak gürültü bastırma teknikleriyle 1 m uzaklıktan solunum ve kalp atım hızları ölçülebilmektedir [23].

Tavakolian vd. (2008) yaptığı çalışmada MCG sinyallerini kullanarak radar tabanlı uzaktan erişimli EKG cihazı tasarlanmıştır. Bu çalışmada nabız ölçümü doğruluk oranı % olarak gözlemlenmiştir [24].

Li ve Lin (2008) yaptığı çalışmada 4 ile 7 GHz arasındaki frekanslarda dördüml doppler radarla hayati sinyal tespiti çalışmalarında ölçümler 2 m mesafeye kadar kabul edilebilir düzeyde olduğu bulunmuştur [25].

Chioukh, vd. (2009) düşük güçlü ve farklı frekanslarda (5.8 GHz, 24 GHz ve 35 GHz) hayati sinyallerin ve solunum hızının hassasiyetleri üzerinde yaptığı çalışmada yüksek frekanslarda daha yüksek hassasiyet olduğu gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda en doğru ölçümler 35 GHz frekansında elde edilmiştir. Deneyler hasta ile radar arasında 1 metre mesafede iken yapılmıştır [26].

Fletcher ve Han (2009) çift sarmal anten kullanarak yaptıkları hayati sinyallerin diferansiyel ölçümü çalışmasında ilk anten hayati sinyallerin ölçümü için kullanılırken ikinci anten ise hareketin oluşturduğu yanılmaları bastırmak için kullanılmıştır. Ölçümler 0.5 metre mesafeden 2.460 GHz ve

3. Gün / 17 Ekim 2015, Cumartesi

2.510 GHz frekanslarında yapılmıştır. Ölçümler sonucunda iki sarmal anten kullanılarak 1 metre mesafeye kadar doğru ölçümler gerçekleştirilmiştir [27].

Chioukh, vd. (2010) çoklu frekans sistemi kullanarak hayati sinyallerin daha doğru bir şekilde ölçülebilmesi konusunda çalışma yapmıştır. İşaret işleminin yardımı ile vücut hareketlerinin oluşturduğu etkileri yok ederek kalp atışının ve nefes hızının daha doğru ölçülebildiğini göstermiştir. Denek ile radar arasındaki mesafenin 1 m olarak ayarlandığı deneylerde 5.8 GHz, 24 GHz ve 35 GHz frekansları kullanılmıştır [28].

Lazaro, vd. (2010) yaptığı çalışmada Doppler radarla hayati sinyallerin işlenmesinde daha doğru veri elde edebilmek için RELAX algoritması kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda verilerin sınırlı sayıda olmasından kaynaklanan periyodogramdaki sızıntı ve kirlenmelerin azaltıldığı gösterilmiştir [29].

Li, vd. (2010) 13 µm CMOS teknolojisini kullanarak doppler radarla hayati sinyallerin ölçümü üzerine yaptığı çalışmada bu teknolojinin kullanımını 1.5 m mesafeye kadar ucuz bir ölçüm için kullanışlı olduğunu gözlemlemiştir [30].

Yu, vd. (2011) iki boyutlu hayati sinyal algılama üzerine yaptığı çalışmada kare kenarlarının üzerinde bulunan doppler radar dizisi kullanmışlardır. Kullanılan radar dizisi insan hareketlerinden meydana gelen gürültüleri bastırması ve algılama hassasiyetini arttırmıştır. Denek dizinin her bir antenine 0.5 m uzaklıkta olacak şekilde oturtulmuştur [31].

Agneessens, vd. (2012) daha önce denenmemiş bir çalışmayla tekstil maddelerinden oluşan bir doppler radar sistemi ile engel arkasındaki hareket eden nesnelere belirlemeye çalışmışlardır. Sistem 2.35 GHz frekansında çalışmaktadır. Denek kapının yaklaşık olarak 1.5 m gerisinden başlayarak radara doğru yürümektedir. Sistemin çalışma sonucunda engel arkasından nesnelere başarılı bir şekilde belirleyebildiği tespit edilmiştir [32].

4. Sonuçlar

Doppler Radar sistemleri ile EKG ölçümlerinde kaza, doğal afet, teknik aksaklıklar ile bina göçüklerinin altında kalan canlı insanların saptanmasında büyük önem arz etmektedir. Bu sistem ile uzaktan test sistemi ile görünmeyen insanların fizyolojik durumlarına bakılabilir veya açık güvenlik kontrolleri yapılabilir. Bu sistemin iyileştirilmesi için LNA ve mikroşerit anten yapılarında iyileştirmeler daha iyi sonuçların alınmasını sağlayacaktır. Bu şekilde ölçüm mesafesi artırılabilir.

5. Kaynakça

- [1] F. K. Wang, T. S. Horng, K. C. Peng, J. K. Jau, J. Y. Li, and C. C. Chen, "Detection of Concealed Individuals Based on Their Vital Signs by Using a See-Through-Wall Imaging System With a Self-Injection-Locked Radar," 2013.
- [2] A. Droitcour, V. Lubecke, J. Lin, and O. Boric-Lubecke, "A microwave radio for Doppler radar sensing of vital signs," in *Microwave Symposium*

Hastalık Tespiti

3. Gün / 17 Ekim 2015, Cumartesi

- Digest, 2001 IEEE MTT-S International*, 2001, pp. 175-178.
- [3] M. Walter, B. Eilebrecht, T. Wartzek, and S. Leonhardt, "The smart car seat: personalized monitoring of vital signs in automotive applications," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 15, pp. 707-715, 2011.
- [4] M. Güven, "Arşiv Kaynak Tarama Dergisi."
- [5] A. Bugaev, V. Chapursky, S. Ivashov, V. Razevig, A. Sheyko, and I. Vasilyev, "Through wall sensing of human breathing and heart beating by monochromatic radar," in *Proceedings of Tenth International Conference on Ground Penetrating Radar*, 2004, pp. 291-294.
- [6] L. Scalise, "Non Contact Heart Monitoring."
- [7] A. D. Droitcour, "Non-contact measurement of heart and respiration rates with a single-chip microwave doppler radar," Citeseer, 2006.
- [8] C. KAYSERİLİOĞLU, "Modern Radar Sistemleri 2. Cilt," ed. İstanbul: İTÜ, 1997, pp. 274,283,301,309,350,352,399,400.
- [9] D. K. Barton and S. A. Leonov, *Radar technology encyclopedia*: Artech house, 1997.
- [10] R. Malmqvist, C. Samuelsson, A. Gustafsson, P. Rantakari, S. Reyaz, T. Vähä-Heikkilä, et al., "A K-Band RF-MEMS-Enabled Reconfigurable and Multifunctional Low-Noise Amplifier Hybrid Circuit," *Active and Passive Electronic Components*, vol. 2011, 2011.
- [11] G.-L. Ning, Z.-Y. Lei, L.-J. Zhang, R. Zou, and L. Shao, "Design of Concurrent low-noise amplifier for multi-band applications," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 22, pp. 165-178, 2011.
- [12] U. Lott, "Low DC power monolithic low noise amplifier for wireless applications at 5 GHz," in *Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, 1996. Digest of Papers., IEEE 1996*, 1996, pp. 81-84.
- [13] S. Junlin and H. Haoquan, "L band low noise amplifier," in *Computational Problem-Solving (ICCP), 2012 International Conference on*, 2012, pp. 414-417.
- [14] M. H. Misran, M. A. Meor Said, K. G. Cheng, M. A. Othman, M. M. Ismail, and H. A. Sulaiman, "Design of Gaas E-phemt low noise amplifier for WLAN application," in *Green and Ubiquitous Technology (GUT), 2012 International Conference on*, 2012, pp. 106-109.
- [15] J. Allen, "Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement," *Physiological measurement*, vol. 28, p. R1, 2007.
- [16] P. Sahindrakar, G. de Haan, and I. Kirenko, "Improving Motion Robustness of Contact-less Monitoring of Heart Rate Using Video Analysis," 2011.
- [17] M. Z. Poh, D. J. McDuff, and R. W. Picard, "Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation," *Optics Express*, vol. 18, pp. 10762-10774, 2010.
- [18] A. Kayabaşı, M. B. Biçer, A. Akdağlı, and A. Toktaş, "UHF BANDINDA ÇALIŞAN H ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLERİN REZONANS FREKANSININ YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANARAK HESAPLANMASI," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 26, 2011.
- [19] O. B. Lubecke, P.-W. Ong, and V. Lubecke, "10 GHz Doppler radar sensing of respiration and heart movement," in *Bioengineering Conference, 2002. Proceedings of the IEEE 28th Annual Northeast*, 2002, pp. 55-56.
- [20] V. Lubecke, O. Boric-Lubecke, and E. Beck, "A compact low-cost add-on module for Doppler radar sensing of vital signs using a wireless communications terminal," in *Microwave Symposium Digest, 2002 IEEE MTT-S International*, 2002, pp. 1767-1770.
- [21] O. Boric-Lubecke, V. M. Lubecke, A. Host-Madsen, D. Samardzija, and K. Cheung, "Doppler radar sensing of multiple subjects in single and multiple antenna systems," in *Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, 2005. 7th International Conference on*, 2005, pp. 7-11.
- [22] J.-G. Kim, S.-H. Sim, S. Cheon, and S. Hong, "24 GHz circularly polarized Doppler radar with a single antenna," in *Microwave Conference, 2005 European*, 2005, p. 4 pp.
- [23] S.-G. Kim, H. Kim, Y. Lee, I.-S. Kho, and J.-G. Yook, "5.8 GHz vital signal sensing Doppler radar using isolation-improved branch-line coupler," in *Radar Conference, 2006. EuRAD 2006. 3rd European*, 2006, pp. 249-252.
- [24] K. Tavakolian, F. M. Zadeh, Y. Chuo, A. Vaseghi, and B. Kaminska, "Development of a novel contactless mechanocardiograph device," *International Journal of Telemedicine and Applications*, vol. 2008, p. 2, 2008.
- [25] C. Li and J. Lin, "Random body movement cancellation in Doppler radar vital sign detection," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 3143-3152, 2008.
- [26] L. Chioukh, H. Boutayeb, L. Li, L. Yahia, and K. Wu, "Integrated radar systems for precision monitoring of heartbeat and respiratory status," in *Microwave Conference, 2009. APMC 2009. Asia Pacific*, 2009, pp. 405-408.
- [27] R. Fletcher and J. Han, "Low-cost differential front-end for Doppler radar vital sign monitoring," in *Microwave Symposium Digest, 2009. MTT'09. IEEE MTT-S International*, 2009, pp. 1325-1328.
- [28] L. Chioukh, H. Boutayeb, D. Deslandes, and K. Wu, "Multi-frequency radar systems for monitoring vital signs," in *Microwave Conference Proceedings (APMC), 2010 Asia-Pacific*, 2010, pp. 1669-1672.
- [29] C. Li, J. Ling, J. Li, and J. Lin, "Accurate Doppler radar noncontact vital sign detection using the RELAX algorithm," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 59, pp. 687-695, 2010.
- [30] C. Li, X. Yu, C.-M. Lee, D. Li, L. Ran, and J. Lin, "High-Sensitivity Software-Configurable 5.8-GHz Radar Sensor Receiver Chip in 0.13- μ m formula formulatype=," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 58, pp. 1410-1419, 2010.
- [31] X. Yu, C. Li, and J. Lin, "Two-dimensional noncontact vital sign detection using Doppler radar array approach," in *Microwave Symposium Digest (MTT), 2011 IEEE MTT-S International*, 2011, pp. 1-4.
- [32] S. Agneessens, P. Van Torre, F. Declercq, B. Spinnewyn, G. J. Stockman, H. Rogier, et al., "Design of a Wearable, Low-Cost, Through-Wall Doppler Radar System," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2012, 2012.