

ANTENNA and MEASUREMENT SYSTEM for MICROWAVE IMAGING of BREAST TUMORS

SUMMARY

With the increasing demand for better medical imaging technologies, different medical screening procedures become a research topic for scientific community. One of the important challenges in today's medical imaging is surely the early detection of breast cancer. The breast cancer is one of the very dangerous health threat for women. This disastrous illness is observed approximately one in eight women by the age of ninety years old. The likelihood of successful treatment increases with early detection of breast cancer increases. Up to now, X-ray tomography is the golden standard for characterizing and detecting the breast cancer. In contrast to this fact, X-ray mammography has significant disadvantages. These disadvantages trigger a search for different imaging modalities, which can be integrated with currently available imaging technologies. Microwave imaging is one of those newly emerging solutions. The use microwaves in the early detection of breast cancer is motivated by several reasons. First of all, it is shown that the electrical properties of the malignant and normal tissues are substantially different, which can be easily revealed by microwave imaging. Moreover, microwaves can easily penetrate into breast tissue at a few GHz ranges. Considering that the dimensions of the breast is comparable with the wavelength at those frequencies, the malignancies can be detected from the scattered field by means of nonlinear inverse scattering algorithms.

Nowadays, there are many different studies to design microwave imaging systems for the early detection of the breast cancer. An inevitable part of these systems is the nonlinear imaging methods. With the recent developments in computer technology and the newly introduced efficient algorithms, these methods are now employed in any microwave imaging system. However, the quality of reconstructed images produced by these methods is closely connected with the scattered field data that is acquired by the microwave antennas. Hence, one of the most important parts of the microwave imaging systems is the transceiving antennas. It is shown that, regardless of the method in the hand, the resolution of the produced images increases with the increasing signal-to-noise ratio (SNR) and with the increasing sampling density of the field. To increase SNR, the designed antenna must have higher gain levels together with a lower back-to front ratio level; whereas the sampling density of the field increases when the dimensions of the antenna gets smaller. Furthermore, the microwave imaging methods require certain preprocessing steps, which accept only a single polarization of the incident field as input. Thus, the designed antennas must be highly linearly polarized. Finally, the microwave imaging of the malignancies is a highly ill-posed inverse problem. Thus, the frequency diversity in the scattered field data must be as high as possible. Consequently, today's microwave breast cancer imaging systems require high gain, linearly polarized, wide-band and compact antennas as their scattered field sensors.

In this context, the first contribution of this thesis is the design of a cavity-backed Vivaldi antenna (CBVA) for microwave breast measurements. The design criteria for the antenna is shaped by the requirements of the free-space measurement scenario where the receiving and the transmitting antennas are rotated by a mechanical scanner. Later, various breast phantom measurements are conducted with the CBVA to reveal its feasibility for microwave tomography.

As the second contribution, a novel Corrugated Vivaldi antenna (CVA) is proposed. The main idea is opening corrugations on the edge of the antenna to decrease the induced currents, which can degrade the performance. Doing so a design with better properties such as higher gain, smaller beam width, lower back-to-front ratio is obtained. The characteristics of the obtained CVA is measured in a detailed manner. Furthermore, the imaging performance of the introduced design is compared with a generic Vivaldi antenna (VA) of the same size. For this purpose, several experimental configurations are prepared in an anechoic environment and scattering parameter (S-parameter) measurements are obtained for those setups by means of the both antennas. Acquired S-parameters are then employed in a recently proposed qualitative imaging method, the S-parameter based Linear Sampling Method (S-LSM), which is a more suitable form of Linear Sampling Method (LSM) for real world applications. Experimental results show that the proposed design performs better than VA in such real world microwave imaging problems.

MEME TÜMÖRÜNÜN MİKRODALGA ile GÖRÜNTÜLENEBİLMESİ İÇİN ANTEN ve ÖLÇÜM SİSTEMİ

ÖZET

Yeni görüntüleme teknolojilerine artan ihtiyaçla birlikte, çeşitli medikal görüntüleme metotları günümüz bilim camiası için aktif bir araştırma konusu ve etkin bir geliştirme alanı olmaya başladı. Günümüz medikal görüntülemesinde en önemli zorluk ve problemlerden biri de kesinlikle meme kanserinin erken tespiti için memedeki tümörlü dokunun tespit ve teşhis edilmesidir.

Meme kanseri kadınlar açısından en kritik ve en tehlikeli hastalıklardan birisidir. İstatistiklere göre günümüzün en korkunç hastalıklarından biri olan meme kanseri sekiz kadından birinde doksan yaşına kadar gözükmetedir. Bu hastalığın bilinen en iyi tedavi yöntemi de memedeki tümörlü dokunun erken yaşlarda tespit ve teşhis edilmesidir. Erken teşhis edilen meme kanserlerinde tedavideki başarı oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Şimdiye kadar, meme kanserinde malignan dokunun görüntülemesinde kullanılan en etkili teknik X-ray görüntüleme yöntemleridir. X-ray görüntüleme tekniğinin bu yaygın kullanımına ve meme kanserini teşhis ve tedavideki büyük önemine karşın, X-ray tomografinin pek çok zararı olduğu bilimsel olarak ortaya konulmuş bir gerçektir. Özel olarak açıklamak gerekirse, X-ray tomografinin en önemli dezavantajı dokuda iyonlaşmaya sebep olmasıdır. X-ray'in bu iyonlaştırma etkisi sebebiyle bu görüntüleme tekniği belli bir yaşın altındaki hastalara uygulanmakta olup gerekli olduğu durumlarda dahi uygulanacak kişi açısından risk taşıdığı çok açıktır. Bununla birlikte, X-ray mamografi yüksek bir false-pozitif oranına sahiptir. İstatistiklere göre mamografinin call-back (Normal olan bir dokunun mamografide kanserli gibi gözüküp ikinci bir testi gerektirmesi durumu) oranı %11. Ayrıca X-ray mamografinin false negatif oranı da yapılan çalışmalarda %4 ve %34 arasında bulunmuştur ki bu değerler hiç de azımsanacak ölçüde değillerdir. (False negatif oranındaki bu değişiklik false negatif tabirinin değişik tanımlarından kaynaklanmaktadır.) X-ray mammografinin diğer bir dezavantajı da memedeki radyolojik olarak yoğun olan fibroglandular dokunun artışı ile hassasiyetin azalmasıdır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta da genç bayanlarda fibroglandular doku miktarının daha fazla olduğu gerçeğidir. Bunlardan başka, X-ray mammografinin yapılabilmesi için memenin bastırılması gerekmektedir. Bu tekniğin uygulanacağı kadınlarda rahatsızlık ve acı verici bir hissiyata yol açmaktadır. Son olarak, X-ray mammografi sonunda elde edilen görüntüler radyolojistler tarafından değişik şekillerde yorumlanabilmektedir. Açık ki bu da yukarıda bahsedilen false pozitif ve false negatif oranlarının belirtildiği gibi yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu yukarıda bahsettiğimiz farklı dezavantajlar ve kusurlarında ötürü, bilim camiası meme kanserinin erken

teşhisi için X-ray görüntüleme tekniğinden farklı çeşitli teknik ve metotlar aramakta ve bunların X-ray mammografi ile entegre edilmesine çalışmaktadır.

Üretilen yeni çözümlerden birisi de özel olarak mikrodalga frekanslarındaki elektromanyetik dalgaların meme kanserinin erken tanı ve teşhisinde kullanılması fikridir. Mikrodalga frekanslarındaki elektromanyetik dalgaların meme kanserinin erken tanı ve teşhisinde kullanılmasının çeşitli bazı sebepleri vardır. Her şeyden evvel, mikrodalga frekanslarında memedeki normal ve kanserli dokunun elektriksel özellikleri (görelî dielektrik sabiti, elektriksel iletkenlik) önemli ölçüde farklılık arz eder. Bundan dolayıdır ki mikrodalga frekanslarında bu dokuları saçtıkları alanların farkından ayırt etmenin mümkün olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Ayrıca mikrodalga frekansındaki elektromanyetik dalgaların, özellikle de bir kaç GHz civarında, meme dokusu içinde kolaylıkla ilerleyebilecekleri değişik makalelerde gösterilmiştir. Bu frekans bandında ortalama meme boyutlarının bir – bir kaç dalga boyu olacağı da göz önüne alınırsa meme içinde bulunması olası malignan dokulardan saçılan alanların kolayca ölçülebileceği ve bu saçılan alanlardan lineer olmayan ters saçılma algoritmaları ile tümörlü dokunun tespit edilebileceği anlaşılmaktadır.

Günümüzde, meme kanserinin erken teşhisi için değişik mikrodalga görüntüleme sistemleri geliştirilmektedir. Bu sistemlerin vazgeçilmez bir parçası da hiç şüphesiz ki doğrusal olmayan görüntüleme yöntemleridir. Bilgisayar teknolojisindeki son gelişmeler ve geliştirilen efektif algoritmalar sayesinde bu doğrusal olmayan metotlar artık tüm mikrodalga meme kanseri tanı ve teşhis sistemlerinde kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan görüntüleme algoritmalarının çalışmasını etkileyen en önemli faktör antenler tarafından örneklenen saçılan alanlardır. Bu yüzden mikrodalga meme kanseri tanı ve teşhis sistemlerinin en hayati parçalarından biride alıcı/verici antenlerdir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, herhangi bir mikrodalga görüntüleme algoritmasının ürettiği sonucun çözünürlüğü saçılan alan bilgisinin sinyal-gürültü oranı (signal-to-noise ratio) ile doğrudan bağlantılıdır. Ayrıca yine bu resimlerin çözünürlüğünü etkileyen önemli bir diğer faktör de saçılan alanın örnekleme yoğunluğudur. Örnekleme yoğunluğunun bu etkisini anlamak için ters saçılma problemine sezgisel açıdan yaklaşmak gerekir. Şöyle ki, tespit edilmek istenen nesne ne kadar küçükse saçılan alan da o derece zayıf olacaktır. Ayrıca bu nesneyi tespit etmek için kullanılması gereken frekans da yüksek olacaktır. Yüksek frekansların kullanılması durumunda saçılan alanın band genişliği artacak ve Nyquist ilkesi gereğince sinyali tam olarak tanımlamak için almamız gereken örnek sayısı da yükselecektir.

Yukarıdaki sebeplerden ötürü meme kanseri tanı ve teşhis sistemlerinin gerektirdiği antenler özel olarak tasarlanmalıdır. İlk olarak, tasarlanan antenin olabildiğince yüksek bir kazançla sahip olması gerekmektedir. Bu yüksek kazanç sayesinde antenin arka lob güç seviyesi-önlob güç seviyesi oranı (back to front ratio) düşük olacak ve antenin radyasyon hüzmesinin 3dB genişliği (3dB beamwidth) azalacaktır. Düşük arka lob güç seviyesi-önlob güç seviyesi ve küçük bir 3dB radyasyon hüzme genişliği, mikrodalga meme kanseri tanı ve teşhis sistemlerinde kullanılacak bu antenlerin yüksek bir sinyal-gürültü oranına sahip olmasına sebep olacaktır. Anten tasarımında ikinci bir kıstas ise antenin boyutlarının olabildiğince küçük tasarlanmasıdır. Bu sıkı tasarımı ile mikrodalga meme görüntülemesinde kullanılacak bu antenlerin saçılan alanı örnekleme oranının olabildiğince yüksek olması hedeflenmektedir. Ayrıca, mikrodalga görüntüleme yöntemlerinin

tamamı belirli bir ön işlem aşaması gerektirir. Çünkü mikrodalga görüntüleme yöntemlerinin giriş olarak kabul ettiği enformasyon saçılan elektrik alandır, lakin mikrodalga görüntüleme sistemlerinde kullanılan vektörel devre analizörleri (vector network analyzer) saçılma parametreleri (scattering parameter) ölçülebilmektedir. Saçılma parametrelerinin elektrik alana çevrilmesi ise belirli kalibrasyon yöntemleri ile olur. Bu kalibrasyon yöntemlerinin ekseriyeti ise tek polarizasyonlu bir gelen alan için tasarlanmıştır. Bundan dolayıdır ki, mikrodalga meme kanseri tanı ve teşhis sitemlerinde kullanılacak antenlerin olabildiğince doğrusal polarizasyonlu olması hedeflenir. Son olarak ve en önemli şart olarak, mikrodalga meme kanseri tanı ve teşhis sitemlerinde kullanılacak antenlerin giriş empedansı band genişliğinin mümkün olduğunca yüksek olması istenir. Bu antenlerin böyle tasarlanmasının arkasında yatan sebep ise ters saçılma problemlerinin hemen hemen hepsinin kötü koşullanmış (ill posed) olması ve bu kötü koşullanmayı aşmanın tek yolunun ise enformasyon miktarının artırılması olmasıdır. Şu açık bir gerçektir ki herhangi bir görüntüleme sisteminde toplanan veriyi arttırmanın en kolay yolu saçılan alanı daha çok frekansta örneklemektir. Sonuç olarak, günümüzde kullanılan mikrodalga meme kanseri tanı ve teşhis sitemlerinde kullanılacak antenlerin olabildiğince yüksek kazançlı, mümkün olduğunca doğrusal polarize, geniş bantlı olması ve sıkı bir tasarıma sahip olması beklenmektedir.

Bu bağlamda, bu tezin ilk katkısı, metal bir kavite ile arkalanmış bir Vivaldi antenin (Cavity backed Vivaldi antenna) mikrodalga meme ölçümleri için tasarlanmış olmasıdır. Antenin tasarımı için gereken parametrelerinin tamamı dış ortamın hava olduğu durum için tasarlanmıştır. Çünkü bu antenlerin mekanik bir tarayıcı içinde (boş uzayda) kullanılması hedeflenmektedir. Tasarlanan kavite ile arkalanmış Vivaldi antenin yararlığını gösterebilmek amacıyla çeşitli meme fantomları ile saçılan alan ölçümü yapılmıştır.

Bu tezin ikinci katkısı ise, eni bir oluklu Vivaldi anten (Corrugated Vivaldi antenna) yapısının sunuluyor olmasıdır. Antenin kenarında açılan olukların Vivaldi tipi antenlerin verimini azaltan kenar akımlarını azalttığı gözlenmiştir. Açılan bu oluklar sayesinde elde edilen oluklu Vivaldi antenin yukarıda bahsettiğimiz yüksek kazanç, küçük 3dB radyasyon hüzmeleri genişliği, düşük arka lob güç seviyesi-ön lob güç seviyesi oranına sahip olduğu benzetimlerde gözlenmiştir. Bu gözlemlerin doğrulaması için tasarlanan oluklu Vivaldi antenin tüm parametreleri ayrıntılı bir biçimde ölçümlerle verilmiştir. Üstüne üstlük, tasarlanan oluklu Vivaldi anten ile aynı boyutlardaki jenerik bir Vivaldi antenin mikrodalga görüntüleme performansları deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak. Yansız odasında çeşitli düzenekler kurulup bu düzeneklerin her biri için mikrodalga alan ölçümleri hem jenerik Vivaldi hem de oluklu Vivaldi ile yapılmıştır. Yapılmış olan bu ölçümler, yeni önerilen ibr nitel mikrodalga görüntüleme algoritması olan saçılma parametresi bazlı doğrusal örnekleme yönteminde kullanılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar göstermiştir ki önerilen anten tasatımı mikrodalga görüntüleme jenerik bir Vivaldi antene göre çok daha etkilidir.