

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (YAR) TEKNİĞİ İLE DUVAR İÇİ GÖRÜNTÜLEME¹

Emre Alp MİRAN, Prof. Dr. Sencer KOÇ
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Ankara
skoc@metu.edu.tr, aemre@eee.metu.edu.tr

Özet: Günümüzde mikrodalga görüntüleme tekniği önemli ölçüde ilgi görmektedir. Özellikle fiziksel olarak erişilemeyen cisimlerin elektriksel özelliklerinin elde edilmesini hedefleyen birçok çalışmada bu teknik kullanılmaktadır. Bu çalışmada, duvarın içinde bulunan cisimlerin konumlarını tespit edip çapraz menzil ekseninde hedef cismin boyutunu ve konumunu tespit edebilen bir mikrodalga görüntüleme sistemi sunulmuştur. Görüntüleme yöntemi olarak ultra-geniş bantlı, yapay-açıklıklı radar (YAR) tekniği kullanılmıştır. Duvar, bi-statik radar konfigürasyonu ile çapraz-menziel (cross-range) ekseninde önceden belirlenmiş noktalarda taranmış ve elde edilen bilgi (geri yansıyan sinyal) frekans bölgesinde kaydedilmiştir. Elde edilen ham veri bilgisayar ortamında menzil-Doppler algoritmasından geçirilerek cisimlerin konumlarını içeren çıktı görüntüleri elde edilmiştir.

Abstract: Recently, microwave imaging technique has received considerable amount of interest. A large number of studies rely on microwaves, as an electromagnetic tool to extract electrical and physical properties of impenetrable objects. This study presents a microwave imaging system which is capable of detecting the positions of the objects located inside a wall. Ultra-wideband synthetic-aperture radar technique is employed for imaging. The wall is scanned each predetermined points over the wall by using bi-static radar configuration and the scattered data is recorded in frequency domain. The raw data is processed by range-Doppler algorithm and final image that consists of location of target image in cross-range dimension is generated.

1. GİRİŞ

2000'li yıllardan itibaren yapay açıklıklı radar tekniği uydudan görüntülemenin yanı sıra kapalı alan uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Ulusal ve uluslararası çalışmalar incelendiğinde görüntüleme işlemlerinin büyük oranda duvar arkası görüntüleme (through-wall imaging, TWI) üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Yakın zamana kadar tamamlanmış ve geliştirme aşamasında olan mikrodalga TWI sistemleri Ferris ve Currie tarafından incelenmiştir [1]. Bu sistemlerin büyük kısmı birkaç inç kadar çözünürlük sağlarken düşük düzlemsel çözünürlüklü sonuçlar vermiştir. Anten dizisinin kullanıldığı açıklık sentezi yöntemi ses-üstü uygulamasında kullanımı ilk kez [2] tarafından önerilmiştir. Açıklık sentezinin kullanımı Bristol Üniversitesi'ndeki bir grup tarafından genişletilmiştir. Grup bu yöntemi mikrodalga görüntüleme alanında kullanmıştır [3]. Kurdukları düzenekte verici ve alıcı bloklar için tek bir anten dizisi kullanmıştır. [4]'te yapılan çalışmada dizi sentezi için genel bir çerçeve sunulmuş ve yapay açıklık kullanımı ile istenen görüntüleme karakteristiğinin sağlanabileceği öne sürülmüştür. [5] ve [6] duvarın içinden zaman-modülasyonlu ultra-geniş bantlı sinyaller gönderebilen elle-tutulur bir duvar altı radar birimi tanıtmıştır.

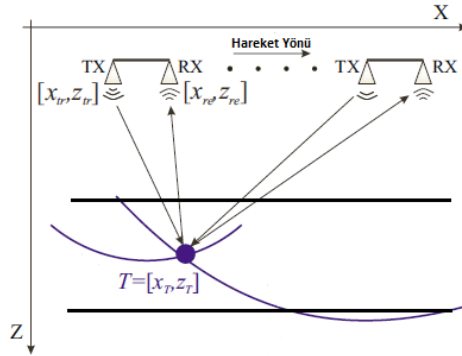
Bu makale, ultra-geniş bantlı YAR tekniğinin kullanıldığı bir duvar içi görüntüleme uygulamasını tanıtmaktadır. Yapılan çalışmada, YAR tekniği ile duvarın içinde bulunan yansıtıcıların çapraz-menziel (uçuş yönüne paralel, YAR alıcısının hız vektörünün yönü) boyutundaki konumlarının tespit edilebileceği gösterilmiştir. Tespit yöntemi olarak çoğu yeraltı radarlarında olduğu gibi cisimlerden geri yansıyan elektromanyetik dalgalardan yararlanılmıştır. YAR ile görüntüleme uygulamalarında sistemin performansı, antenlerin çapraz-menziel eksenindeki boyutları, görüntülenen hedefin materyal karakteristiği, YAR sinyalinin bant genişliği gibi birçok değişkene bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle ölçüm ortamı ve YAR antenlerini içeren bir benzetim oluşturularak olası fiziki ve malzemesel değişikliklerin alınan veri üzerinde yaptığı etkiler hesaplanmıştır. Benzetim sonucu elde edilen ham veriler bilgisayar ortamına aktarılarak YAR-işlemeden (menziel-Doppler

¹ Bu çalışma TÜBİTAK 1002 programı kapsamındaki 115E002 no'lu projeden üretilmiştir.

algoritması) geçirilerek çıktı görüntüleri elde edilmiştir. Alınan sonuçları doğrulamak amacıyla laboratuvar ortamında bi-statik radar sistemi kurularak ölçüm alınmış ve YAR ham verisi benzetim sonuçlarında kullanılan menzil-Doppler algoritmasından geçirilmiştir. Elde edilen görüntüler benzetim sonuçları ile kıyaslanarak doğrulanmıştır.

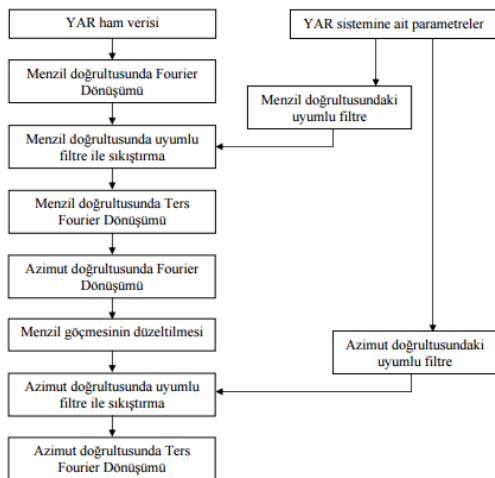
2. YAR HAM VERİ ELDE EDİLMESİ ve MENZİL-DOPPLER ALGORTİMASI

Çalışmada kullanılan ultra-geniş bantlı sistem iki ana bloktan oluşmaktadır: (i) geniş bantlı elektromanyetik dalganın üretilip yayıldığı verici blok, (ii) hedeften geri dönen sinyalin yakalanıp işlendiği alıcı blok. Üretilen dalga karakteristiğini muhafaza etmek ve geniş bant yayın sağlamak amacıyla alıcı ve verici antenler olarak aynı tip düzlemsel Vivaldi tipi antenler (2-8 GHz) tercih edilmiştir. Antenler çapraz-menzil düzleminde bulunan hareketli platform üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 1'de temel bir 2-boyutlu YAR modeli düzlemsel olarak modellenmiştir. İletilen elektromanyetik dalga hedeften her yöne eşit olarak yansımaktadır. Antenin ışınım demeti geniş olduğundan geri yansıyan sinyal sadece anten hedefin tam üstündeyken değil aynı zamanda diğer pozisyonlardayken de yakalanmıştır. Bu durum sistemin hedefi birçok pozisyonda görebilmesini sağlamıştır.



Şekil 1: 2-boyutlu düzlemsel YAR modeli.

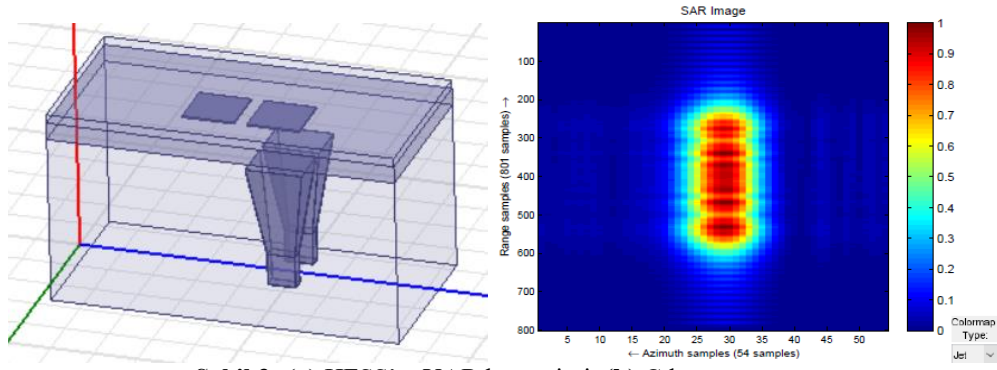
Giriş kısmında bahsedildiği gibi YAR ölçümünden elde edilen ham veri menzil-Doppler algoritması kullanılarak çıktı görüntüsü haline getirilmiştir. YAR ham verisinin işlenmesi iki boyutlu bir problemdir. Hedef cismin enerjisi menzil ve çapraz-menzil boyutlarına dağılır. Menzil-Doppler algoritması, dağılan bu enerjinin çıktı görüntüsü üzerindeki tek bir piksele odaklanmasını sağlar. Enerji, menzilde civıltı darbesinin süresine bağlı olarak dağılırken çapraz-menzilde yapay açıklık boyunca (hedefin anten hızı tarafından aydınlatılması süresince) dağılır. Ayrıca bu algoritma YAR antenlerinin azimut boyutundaki hareketinden kaynaklanan menzil göçmesi sorununu da ortadan kaldırmaktadır. Algoritmanın doğru çalışabilmesi için Doppler merkezine (f_{DC}) ihtiyaç duyulmaktadır. f_{DC} YAR verisinden dinamik olarak belirlenebilmektedir. Bununla birlikte, menzil ve çapraz-menzil eksenlerinde yapılacak uyumlu filtreleme için civıltı darbesine ve YAR sisteminin görüntüleme geometrisine ihtiyaç duyulmaktadır. Algoritmanın akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Menzil-Doppler algoritmasının akış şeması.

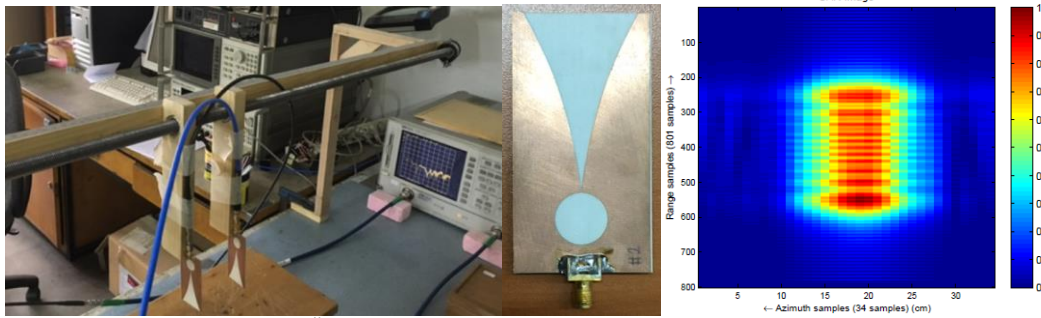
3. BENZETİM VE DENEYSEL ÖLÇÜM

HFSS [7] programı kullanılarak ölçüm sisteminin ve ölçümün yapıldığı ortamın benzetimi yapılmıştır. YAR uygulaması için geniş bantta çalışan ve geniş ışınım örüntüsüne sahip antenlere ihtiyaç vardır. Bu nedenlerden dolayı 2-8 GHz bandında çalışan horn antenler tercih edilmiştir. Şekil 3.a'da benzetimi gerçekleştirilen yapı verilmiştir. Duvar olarak belli kalınlıkta beton ($\epsilon_r = 4.5$, kayıp tanjantı = 0.0111), hedef cisim olarak birbirinden 15 mm uzaklıktaki iki adet 60mm x 60mm PEC levhalar kullanılmıştır. Geri dönen elektromanyetik dalgalar çapraz-menzil ekseninde daha önceden belirlenmiş noktalarda (ham veri) S_{21} (dB) formatında kaydedilmiştir. Menzil-Doppler algoritmasından geçirilmiş ham veri ile elde edilen çıktı görüntüsü Şekil 3.b'de verilmiştir. Ölçümler 5mm adımlarla duvardan 30 mm uzaktan gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3: (a) HFSS'te YAR benzetimi, (b) Çıktı görüntüsü.

Önerilen YAR ölçüm sistemi laboratuvar ortamında Şekil 4.a'da gösterildiği gibi kurulmuştur. Dinamik olarak her adımda ölçüm alınması gerektiğinden alıcı ve verici antenler olarak 2-8 GHz bandında çalışan Vivaldi tipi antenler tercih edilmiştir (Şekil 4.b). Antenler, R04003 ($\epsilon_r=3.55$ and $\tan\delta=0.0027$) dielektrik substrat üzerine basılmıştır. Ölçümde hedef cisim için ahşap yapının ($\epsilon_r = 1.2-5$, kayıp tanjantı = 0.4167) içine gömülü halde dikdörtgen şeklinde kesilmiş bir adet bakır plaka (100mm x 100mm) tercih edilmiştir. Hedef cisim antenlerden 30 mm uzağa yerleştirilmiş ve geri yansıyan EM dalgaları S_{21} (dB) formatında 8720D model HP network analizör yardımı ile kaydedilmiştir. Kaydedilen işlenmemiş veri menzil-Doppler algoritmasından geçirilmiştir. Ölçüm sonrası elde edilen çıktı görüntüsü Şekil 4.c'de görülmektedir.



Şekil 4: (a) Ölçüm sistemi, (b) Vivaldi anten, (c) Çıktı görüntüsü.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çoğunlukla uzak alan uygulamalarında kullanılan yapay açıklıklı radar tekniğinin yakın alan uygulamalarında da kullanılabileceği gösterilmiştir. Duvar daha önceden belirlenen aralıklarla taranarak çapraz-menziel ekseni boyunca haritalandırılmış ve hedef cismin bu eksenindeki boyutu ve konumu tespit edilmiştir. Ölçümler yan yana yerleştirilmiş hedef cisimlerle tekrarlanmış ve çapraz menziel eksenindeki çözünürlük hesaplanmıştır. Aynı yöntem, ölçüm düzeneğinin çapraz-menziel eksenine dik yönde belirli adımlarla kaydırılıp ölçümler tekrarlandığında hedef cismin iki-boyutlu (2B) görüntüsü elde edilebilecektir. Böylelikle duvarın içi iki boyutta da taranmış ve cismin tam şekli ortaya çıkarılabilecektir. Ek olarak aynı uygulama yakın alan teknikleri kullanılarak da gerçekleştirilebilecektir.

Kaynaklar

- [1] Currie, N. C., Ferris, D. D. Jr. Nov. 1998. "A survey of current Technologies for through-the-wall surveillance (TWS)", Proceedings of SPIE, vol. 3577, pp.62—72
- [2] Bernardi, R. B., Kassam S. A., Luthra, A. K. 1986. "Body imaging using vectorial addition of acoustic reflection to achieve effect of scanning beam continuously focused in range", US. Patent No. 4,604,697.
- [3] Benjamin, R. et. Al. Aug, 2002. "Through-wall imaging using real- aperture radar", Proc. URSI General Assembly
- [4] Ahmad, F. et. Al. Dec. 2002. "Aperture synthesis for a through-the-wall imaging system", Proc. ISSPIT02
- [5] Payment, T. May 2000. "A low power Ultra-wide Band Radar Test Bed", proceedings of EuroEM 2000
- [6] Barnes, M., Flluhker, H., Nag S. 2001. "Preliminary interferometric images of moving targets obtained using a time-modulated
- [7] HFSS 13.1. [Online]. Available: <http://ansys.com/Products/Electronics/ANSYS-HFSS>