

Hızlandırılmış Seken Işın Yöntemi ile Radar Kesit Alanı Analizi

Berk Bural*⁽¹⁾, Özlem Özgün⁽¹⁾, Asım Egemen Yılmaz⁽²⁾, Mustafa Kuzuoğlu⁽³⁾

⁽¹⁾Hacettepe Üniversitesi

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara

buralberk@gmail.com, ozlem@hacettepe.edu.tr

⁽²⁾Ankara Üniversitesi

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara

Asim.Egemen.Yilmaz@eng.ankara.edu.tr

⁽³⁾Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara

kuzuoglu@metu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, Radar Kesit Alanı (RKA) hesaplamalarında kullanılan etkili bir yöntem olan Seken Işın Yöntemi'nin hızlandırılmasına yönelik bir yaklaşım sunulmuştur. Seken Işın Yöntemi'nde hesaplama yükünün büyük kısmını oluşturan ışın izleme algoritması GPU (Grafik İşlemci Birimi) üzerinde MATLAB paralel hesaplama araç-kutusu kullanılarak verimli bir şekilde paralelleştirilmiştir. Işın izleme algoritmasında kullanılan ışın-üçgen kesişim testi sayısı, hedef cisme sekizli ağaç veri yapısı ile bölümlenme uygulanarak azaltılmıştır. Geliştirilen yöntem elektriksel boyutu büyük olan kompleks bir cisim üzerinde test edilmiştir ve benzetim zamanında önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Elde edilen nümerik sonuçlar ticari bir elektromanyetik çözücü olan FEKO'dan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Abstract: In this work, the Shooting and Bouncing Rays method, which is an effective Radar Cross Section (RCS) calculation method, is accelerated. The ray tracing algorithm, which is the most time-consuming part of the method, is parallelized on GPU (Graphics Processing Unit) using parallel computation toolbox of MATLAB. In the ray tracing algorithm, ray-triangle intersection test numbers are reduced by using octree space subdivision on target model. The proposed method is tested on an electrically-large complex model, and a significant acceleration is achieved. The numerical results obtained from the new approach are compared with those obtained from a commercial electromagnetic solver (i.e., FEKO).

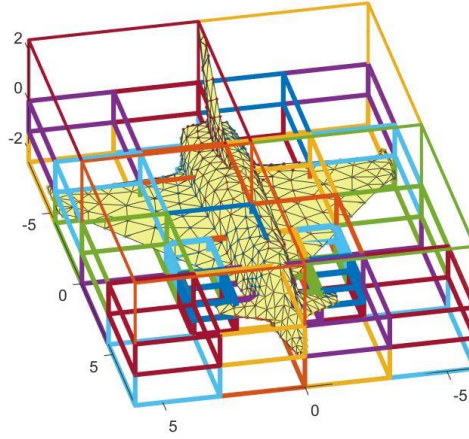
1. Giriş

Seken Işın Yöntemi, elektriksel olarak büyük cisimlerden kaynaklanan elektromanyetik saçılma problemlerini çözmek için kullanılan bir yüksek frekans yöntemidir. Seken Işın Yöntemi, Fiziksel Optik ve Geometrik Optik yöntemleri ile ışın izleme algoritmalarını birleştirerek saçılma problemlerinin çözülmesini sağlamaktadır. Seken Işın Yönteminin diğer yüksek frekans elektromanyetik yöntemlerle karşılaştırıldığında en büyük avantajı, çoklu yansıma durumlarında dahi gerçeğe yakın sonuç vermesidir. Bu yöntemde elektromanyetik düzlem dalgayı taklit etmek için sanal bir ışın ızgarasından hedef cisme doğru ışınlar gönderilmektedir. Gönderilen ışınlar Geometrik Optik kurallarıyla takip edilerek cisim üzerindeki kesişim noktaları bulunmaktadır. Bulunan kesişim noktalarında yüzey akımları Fiziksel Optik integralleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Yüzey akımları ise gözlem noktalarında saçılan alan değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu işlem ışınlar cismi terk edinceye kadar veya önceden belirlenen maksimum sekme sayısına ulaşıncaya dek tekrarlanmaktadır [1].

Seken Işın Yöntemi, diğer tam dalga yöntemler (Sonlu Elemanlar Yöntemi, Moment Metodu, vs.) ile karşılaştırıldığında elektriksel olarak büyük cisim içeren problemlerin çözümü için daha verimlidir. Fakat hedef cismi aydınlatmak için kullanılan ışın sayısı ve hedef cismi modellemek için kullanılan üçgen sayısı arttığında hesaplama külfetli olabilmektedir. Işın izleme algoritmasından kaynaklanan bu hesaplama yükünü azaltmak için literatürde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları ışın izleme algoritmasının CPU (Merkezi İşlem Birimi) veya GPU üzerinde paralelleştirmesine dayanırken bazıları ise ışın izleme algoritmasında kullanılan ışın-üçgen kesişim testi sayısını azaltmaya yöneliktir [2]. Bu çalışmada, Seken Işın Yönteminde kullanılan ışın izleme algoritması GPU üzerinde paralelleştirilerek hızlandırılmıştır. Ayrıca aydınlatılan cisim modeli sekizli ağaç veri yapısı ile bölünerek kullanılan ışın-üçgen kesişim testi sayısı azaltılmıştır.

2. Sekizli Ağaç Veri Yapısı

Sekizli ağaç veri yapısı kullanarak bölümleme, ışın izleme uygulamalarında kullanılan bir yöntemdir [3]. Bu yöntem üç boyutlu bir ağ yapısının yinelemeli bir şekilde 8 eş kutuya bölünmesine dayanmaktadır. Eğer bir kutu önceden belirlenen maksimum sayıdan daha fazla üçgen eleman barındırıyorsa sekiz eş kutuya bölünmektedir. Bu işlem son derinlikte bulunan kutularda bulunan üçgen eleman sayısı önceden belirlenmiş maksimum sayıdan az olana kadar veya önceden belirlenen derinlik sayısına ulaşılan kadar yinelenmektedir. Şekil 1'de sekizli ağaç veri yapısı ile bölümlendirilmiş bir Eurofighter Typhoon savaş uçağı modeli verilmiştir. Bu modelde toplam 2035 üçgen eleman bulunmaktadır ve her alt kutuda maksimum 100 üçgen eleman bulunana kadar bölümlenmiştir.



Şekil 1. Eurofighter Typhoon savaş uçağı modelinin sekizli ağaç veri yapısı kullanarak bölünmesi.

Model sekizli ağaç veri yapısı ile bölümlendirildikten sonra, ışın izleme algoritmasını kullanmak hesaplama yükü bakımından daha verimlidir. Öncelikle hedef cisme gönderilen ışınlar ile oluşturulan kutular arasında ışın-kutu kesişim testi uygulanarak ışınların kestiği kutular belirlenir. Eğer ışın hiçbir kutuyu kesmiyorsa veya üçgen eleman bulundurmayan bir kutuyu kesiyorsa işlemden çıkartılır. Geriye kalan ışınlar ise sadece kestiği kutuların kapsadığı üçgen elemanlar ile ışın-üçgen kesişim testi uygulanarak hedef cisim üzerindeki kesişim noktaları belirlenir. Böylece ışın izleme işlemi için kullanılan toplam ışın-üçgen kesişim testi sayısı azaltılarak hesaplama yükü hafifletilmiş olur.

3. GPU Üzerinde Paralleleştirme

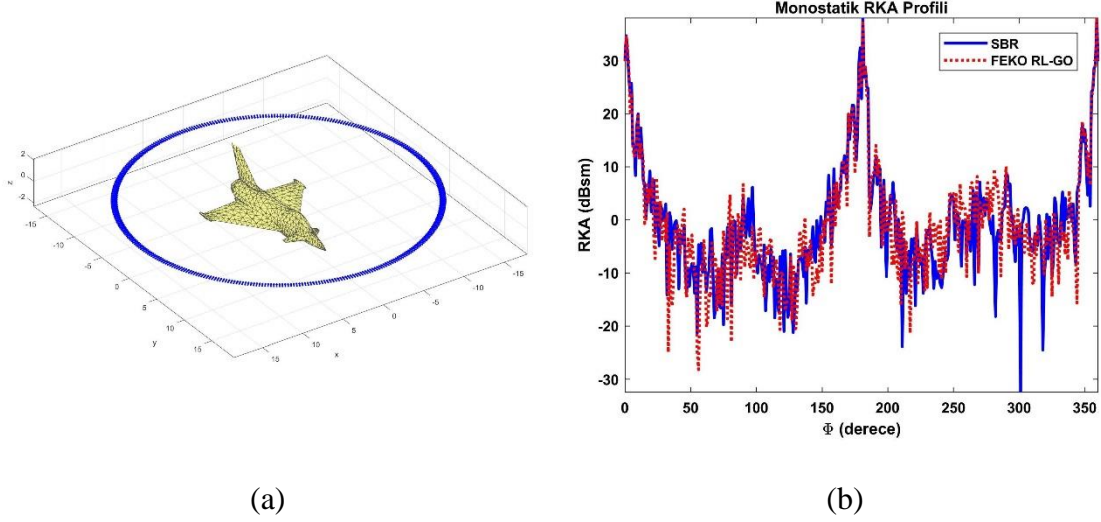
Sekizli Işın Yönteminde düzlem dalgayı en iyi şekilde modelleyebilmek için ışın ızgarasındaki ardışık ışınlar arasındaki mesafe en fazla dalgaboyunun onda biri kadar olmalıdır. Bu koşul, özellikle elektriksel olarak büyük olan cisimleri aydınlatmak için kullanılan ışın sayısının çok fazla olmasına neden olmaktadır. Bu da ışın izleme algoritmasında kullanılan ışın-üçgen kesişim testi sayısını ve hesaplama yükünü oldukça artırmaktadır. Bu hesaplama yükü, paralelleştirme yöntemleri kullanılarak CPU çekirdeklerine veya GPU üzerinde dağıtılarak daha verimli bir çözüm yapılabilir. Bu çalışmada ışın-üçgen kesişim testleri, GPU üzerinde dağıtılarak eş zamanlı yapılmıştır.

Möller-Trumbore'nin geliştirdiği ışın üçgen kesişim testi algoritması, üçgenin yerleştiği düzlemin önceden hesaplanmasına gerek olmadığı için hafıza açısından en verimli algoritmalarından biridir [4]. Bu özelliği ile bu yöntem GPU üzerinde paralelleştirme için çok uygun bir olanak sunmaktadır. Bu çalışmada, Möller-Trumbore'nin geliştirdiği algoritma MATLAB Paralel Hesaplama Araç Kutusu kullanılarak paralelleştirilmiştir. Bunun için öncelikle yön vektörleri, üçgen köşe noktaları gibi girdi dizinleri *gpuArray()* komutu kullanılarak GPU'da saklanmıştır. *arrayfun()* komutu kullanılarak bu dizinlerde saklanan her eleman algoritmaya aynı anda alınarak kesişim noktaları eş zamanlı olarak hesaplanmıştır. Başka bir deyişle, algoritma GPU çekirdeği (kernel) olarak kullanılmıştır. Algoritma, *arrayfun()* komutuna uygun olması için sadece skaler işlemler içerecek şekilde programlanmıştır.

4. Nümerik Sonuçlar

Eurofighter Typhoon savaş uçağı modeli, yükseliş açısı 90 derece olacak şekilde ($\theta = 90^\circ$), 360 farklı azimut açısı ile aydınlatılmıştır. Kullanılan frekans 5 GHz, polarizasyon ise dikeydir. Uçak modelinin uzunluğu 266

dalgaboyu, kanat genişliği ise 166 dalgaboyudur. Üç boyutlu ağ modeli 2696 adet PEC üçgen elemandan oluşmaktadır. Modeli tek bakış açısında aydınlatmak için kullanılan ışın sayısı 1,615,068'dir. Elde edilen monostatik RKA sonuçları ticari bir elektromanyetik çözücü olan FEKO'nun yüksek frekans yöntemi RL-GO kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca benzetim süreleri de karşılaştırılmıştır. Benzetimler 6 adet çekirdeğe sahip 2 tane Intel Xeon E5-2620 CPU (toplamda 12 çekirdek) ve NVIDIA Tesla K40C GPU kullanılarak yapılmıştır. FEKO benzetimleri, programın sağladığı CPU üzerinde paralelleştirme özelliği ile 12 çekirdeği aynı anda kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. (a) Eurofighter Typhoon Savaş Uçağı ağ yapısı ve aydınlatma açıları, (b) Monostatik RKA profili.

Tablo 1. Benzetim sürelerinin karşılaştırması

	FEKO RL-GO	FEKO RL-GO (Paralel Çözüm)	Seken Işın Yöntemi (Paralel Çözüm)
Benzetim süresi (dakika)	620	52	35

5. Sonuç

Bu çalışmada, GPU paralel programlama ve sekizli ağaç veri yapısı kullanarak hızlandırılan Seken Işın Yöntemi sunulmuştur. Geliştirilen yaklaşım, elektriksel boyutu büyük olan Eurofighter Typhoon savaş uçağı modelinin RKA hesaplaması amacıyla kullanılmış ve ticari bir yazılımla karşılaştırılmıştır. Geliştirilen yaklaşımın güvenilir sonuçlar verdiği ve hesaplama süresini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir.

6. Teşekkür

Bu araştırma, TÜBİTAK (Proje no: 5190053) ve Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Baldauf J., "High frequency scattering from trihedral corner reflector and other benchmark targets: SBR versus experiment," IEEE Trans. Antennas Propagat., cilt. 39, no.9, s. 1345-1351, 1991.
- [2]. Tao Y.B., Lin H. ve Bao H.J., "GPU-based shooting and bouncing ray method for fast RCS prediction," IEEE Trans. Antennas Propagat., cilt. 58, no.2, s. 494-502, 2010.
- [3]. Jin K.-S, Suh T.I., Suk S.-H., Kim B.-C. ve Kim H.-T., "Fast ray tracing using a space-division algorithm for RCS prediction," J. Electromagn. Waves Appl., cilt. 20, no.1, s.119-126, 2006.
- [4]. Möller T. ve Trumbore B., "Fast, minimum storage ray/triangle intersection," J. Graphics Tools, cilt. 2, no.1, s. 21-28, 1997.