

Kamufraj Tespiti için Hiperspektral Görüntüleme

Hyperspectral Imaging for Camouflage Detection

Ali Can Karaca¹, Alp Ertürk¹, M. Kemal Güllü¹, Muharrem Elmas², Sarp Ertürk¹

¹Kocaeli Üniversitesi Görüntü ve İşaret İşleme Laboratuvarı (KULIS)
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi
{alican.karaca1, alp.erturk, kemalg, sertur} @kocaeli.edu.tr

²MS MacroSystem Nederland
m.elmas@planet.nl

Özet

Hiperspektral görüntüleme ile birçok görüntü işleme uygulaması için, görsel veya kızılötesi kameralardan çok daha yüksek başarımla elde etmek mümkündür. Kamufraj tespiti ise askeri alanda önemini ve güncelliğini koruyan, hiperspektral görüntülemenin başarımından faydalanabilecek bir görüntü işleme problemidir. Bu makalede, bitkiler arasında gizlenmiş nesne veya insanların tespiti için hiperspektral görüntülemenin başarımı incelenmektedir. Problemin benzetimi için doğal ve yapay yapraklar, kamufraj kumaşı ve yeşil renkte nesnelere kullanılmış olup, hiperspektral görüntüler Palsis Elektronik Optik Ltd. Şti 'de oluşturulmuş olan Hiperspektral Görüntüleme Sistemi ile elde edilmiştir. Elde edilen görüntü ve uygulanan yaklaşım ile, doğal bitkiler, yapay bitkiler ve kamufraj malzemeleri arasında yüksek seçicilik elde edilmekte ve gizlenen nesnelere kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

Anahtar kelimeler: Bitkilerin Hiperspektral Özellikleri, Hiperspektral Görüntüleme, Kamufraj Tespiti.

Abstract

For many image processing applications, it is possible to obtain a much higher performance with hyperspectral imaging, with respect to optical or infrared cameras. Camouflage detection is an image processing problem that keeps its importance and actuality, and that can benefit from the performance of hyperspectral imaging. In this paper, the performance of hyperspectral imaging for the detection of objects or people hidden among plants, is examined. Natural and artificial leaves, camouflage material and green colored objects, are used to simulate the problem; and the hyperspectral images were captured by a Hyperspectral Imaging System constructed at Palsis Electronic Optic Ltd. Co. By using the obtained image and the applied approach, high selectivity is achieved between natural and artificial plants, camouflage materials, and the hidden objects can easily be distinguished.

Keywords: Hyperspectral Imaging, Camouflage Detection, Hyperspectral Properties of Vegetation.

1. Giriş

Hiperspektral görüntüleme savunma, kimyasal inceleme, tarım ve medikal gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Hiperspektral görüntüleme ile kızıl ötesi ve görünür bölgelerden birçok dar dalga boyuna ait imge verileri elde edilmekte ve bunun sonucunda dalga boyuna göre ayrışım sağlanmaktadır. Hiperspektral görüntü üzerinden seçilen herhangi bir pikselin ışıklılık değerlerinin dalga boylarına göre oluşturduğu imza malzemeye özel bir davranış göstermektedir.

Hiperspektral görüntülemenin savunma alanındaki genel uygulamalarına [1]'deki çalışmada yer verilmiştir. [1]'deki çalışma, Kanada silahlı kuvvetleri için gerçekleştirilmiş ve geniş bir spektral aralıkta (0.4-2.5 mikrometre) elde edilen görüntülerle hedef tanıma, arazi analizi ve su kaynaklarının haritalanması uygulamaları üzerinde çalışılmıştır. [2]'de hiperspektral görüntüleme ile yüzeydeki ve gömülü mayınlar tespit edilmiştir. [3]'de askeri bir araç üzerine yerleştirilmiş kamera ile uzun dalga boylu kızıl ötesi (LWIR) (1.8-2.3 mikrometre) bandında görüntü alınarak kum ve bitki örtüsü arasından askeri araçlar tespit edilmiştir.

Bu bildiriye, 400-1000 nm spektral aralığında alınan hiperspektral görüntülerdeki kamufrajlı bölgelerin tespiti amaçlanmaktadır. Tespit için hiperspektral veriye önce görüntü giderimi ve normalizasyon ön işlemleri uygulanmakta, sonra da saçılım/soğrulma oranı, bitki indekslerinin bulunması ve bunların birleştirilmesi ile tespit gerçekleştirilmektedir.

2. Hiperspektral Görüntü Alımı

Bu çalışma kapsamında hiperspektral görüntünün alımı için Palsis Elektronik Optik Ltd. şirketindeki Hiperspektral Görüntüleme Sistemi (HGS) ile kullanılmıştır. Bu HGS, ışıklandırma, yürüyen bant ve görüntü alma donanımı olmak üzere üç alt sistemden oluşmaktadır. Görüntü alma donanımı, görüntüleme spektrometresi ile geniş bir spektrumda yüksek kuantum verimliliği olan bir monokromatik kameradan oluşmaktadır. Monokromatik kamera 1392 x 1040 piksellik çözünürlükte ve 14 bit derinliğinde görüntü almaktadır. Görüntüleme spektrometresi, 400-1000 nm arasındaki görünür ve yakın kızıl ötesi dalga boylarından 2,8 nm spektral çözünürlükte görüntü elde etmektedir. Spektrometre, giriş

yarığı üzerinden gelen ışığı optik sayesinde dalga boylarına ayırarak monokromatik kamera algılayıcısı üzerine iz düşürmektedir. Şekil 1'de spektrometre bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 1: Spektrometre bileşenleri.

Bu çalışmada dış ortam aydınlatmasına benzerlik sağlamak üzere geniş bir dalga boyu aralığında verimli ışık sağlayabilen halojen lamba seçilmiş ve iki adet 1000 W gücünde halojen lamba karşılıklı olarak konumlandırılmıştır. Görüntü alma sistemi çizgi tarama esasına göre çalıştığından tarama için hız ayarlanabilir bir yürüyen bant kullanılmıştır.

Yapılan tarama sonucunda oluşan bir hiperspektral küp 1040 spektral bant içermektedir. Şekil 2'de hiperspektral olarak taranan bitkilerin CIE (Internatinal Commission on Illumination) D65 ışık standardının ağırlıkları kullanılarak oluşturulmuş RGB imgesi verilmiştir. Veri kümesinde üç farklı türden toplam dört doğal bitki yaprağı, iki farklı türden dört yapay bitki yaprağı ve bir kamuflaj kumaşı örneği kullanılmıştır.

Hiperspektral görüntü ile dalgaboylarına göre yansıma değerleri elde edilmektedir. Normalize edilmiş yansıma değerleri ise eşitlik (1) ile elde edilmekte, normalizasyon işlemi ile yansıma spektrumundaki ötelenme ve düzgün dağılımayan ışıklılıktan kaynaklanan hatalar giderilmektedir.

$$R_i = \frac{I_i - S_i}{B_i - S_i} \quad (1)$$

Bu eşitlikte, i farklı uzamsal koordinatlara ait piksel indeksini, I ilgili piksele ait yansıma spektrumunu, S siyah referans spektrumunu, B beyaz referans spektrumunu ve R normalize edilmiş yansıma spektrumunu göstermektedir.

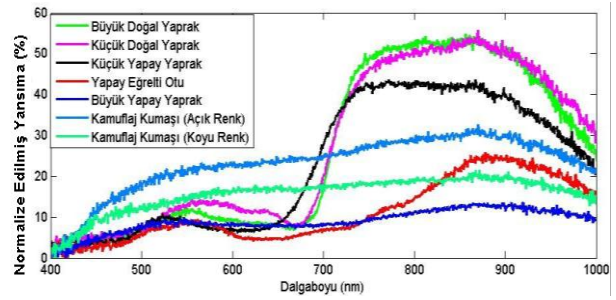
3. Yöntem

HGS ile elde edilen spektral imzaların incelenmesi için Şekil 2'de RGB görüntüsü oluşturulmuştur. Elde edilen hiperspektral verideki farklı türlere ait normalize edilmiş spektral imzalar Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'te yeşil ve eflatun renkleri ile gösterilen spektral imzalar doğal bitkileri göstermektedir. Doğal bitkiler, klorofil içerdiklerinden dolayı yeşil renkte (550 nm dalga boyu civarında) ışımı yaparlar. Yapay yaprakların da yeşil renkteki ışımalarından dolayı bu bölgede ayırt edilemeyebilirler. Ancak doğal bitkiler hücreli özelliklerinden dolayı yakın kızılötesi bandında da yüksek ışımı yaparlar. Kızılötesi bandındaki bu özel davranış kullanılarak

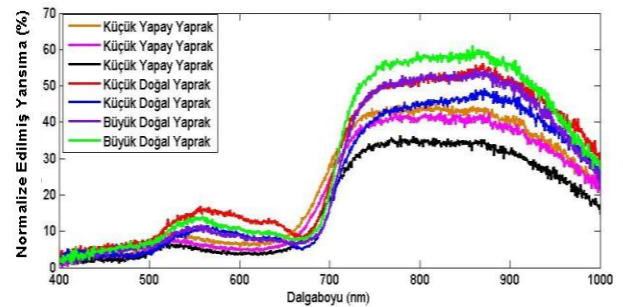
doğal bitkiler yapay bitkiler ve kamuflaj malzemelerinden ayrıştırılabilirler. Dikkat edilmesi gereken nokta, "küçük yapay yaprak" etiketli olan yapay yaprak gibi nadir örneklerde de doğal bitkilerin bu özelliğini içeren spektrumların gözlenebilmesidir.



Şekil 2: Hiperspektral imgenin RGB görüntüsü.



Şekil 3: Farklı malzemelere ait spektral imzalar.



Şekil 4: Ayrıştırılması zor örnekler için spektral imzalar.

Şekil 4'te ışıklandırma ve diğer koşulların en kötü olduğu durumda elde edilmiş örnekler için normalize edilmiş yansıma değerleri verilmiş olup, elde edilen imzalar ile doğal ve yapay yapraklar arası yeterli ayrıştırma sağlanmadığı görülmektedir. Bu çalışmada spektral imzalar arasındaki farklılıkları ön plana çıkarmak için sırasıyla Standart Normal Değişim (Standard Normal Variate, SNV) [4], Savitzky-Golay süzgeçlemesi (SG) [5] ve Kubelka-Munk (KM) teorisi [6] uygulanması önerilmektedir. Bu yöntemlerin yazarlar tarafından adli belgelerdeki bulguların analizi için uygulanmasına [7]'de yer verilmiştir.

SNV, (2)'de verilen eşitlikte de görüldüğü gibi ortalama ve standart sapmayı kullanarak normalizasyon gerçekleştirmekte

ve yansıma spektrumundaki saçılımlarda bulunan çarpımsal girişimleri ortadan kaldırmaktadır[4].

$$SNV_{ij} = \frac{R_{ij} - \bar{R}_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^l (R_{ij} - \bar{R}_i)^2 / (l-1)}} \quad (2)$$

Bu eşitlikte, i farklı uzamsal koordinatlara ait piksel indeksini, j farklı dalga boyların, l ise toplam spektral bant sayısını göstermektedir. Kameranın bazı dalga boylarındaki düşük kuantum verimliliği ile ışık kaynağının o dalga boylarındaki zayıf yansıması, alınan spektral veride bu dalga boylarında gürültüye neden olmaktadır. Bu gürültülerin yansıma spektrumunun formunu bozmadan en iyi şekilde süzülmesi için SG süzgeçlemesi kullanılır. SG en küçük kareler yöntemine göre polinom uydurma temelli bir yöntemdir ve denklemi (3)'te verilmiştir. Denklemden c Savitzky-Golay katsayılarını, M ise pencere kenar boyutunu göstermektedir.

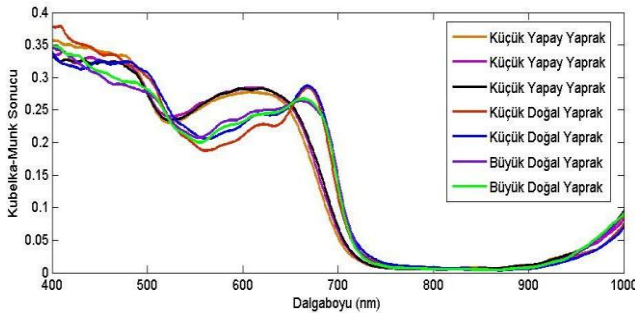
$$SG_i = \sum_{j=-M}^M c_j R_{i+j} / \sum_{j=-M}^M c_j \quad (3)$$

KM teorisi ise iletilen ve yansıyan ışıklardan yola çıkarak bir materyal üzerindeki soğurulma-saçılım oranı bulunmasını sağlar ve (4)'teki eşitlikten hesaplanır.

$$\left(\frac{K}{S} \right)_i = \frac{(1 - R_i)^2}{2R_i} \quad (4)$$

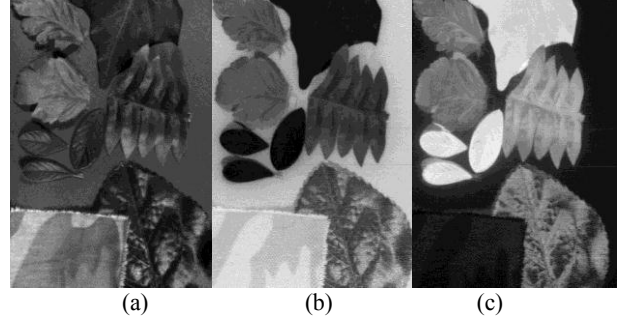
Bu eşitlikte, K soğurulma katsayısı, S ise saçılım katsayısıdır. Bu işlem hiperspektral imgelerde her spektral bantta bağımsız olarak uygulanır ve spektral imzalar arasındaki pek çok farkı ön plana çıkarabilir.

Şekil 5'te sırasıyla SNV, SG süzgeçleme ve KM uygulanması ile elde edilen imzalar verilmiştir.



Şekil 5: SNV, SG ve KM sonucu elde edilen spektral imzalar.

Şekil 5'deki 680-730 nm arasındaki keskin düşüşler bitkilere özel olan ve kırmızı kenar olarak adlandırılan bir özelliktir. 675 nm dalga boyunda doğal ve yapay bitkiler arasındaki fark açık bir şekilde gözükmektedir. Şekil 6'da yöntemlerin ilgili bantta uygulanması ile elde edilen sonuçlar sırasıyla verilmiştir.



Şekil 6: 675 nm'deki bant görüntüsü (a) Normalize edilmiş yansıma imgesi, (b) SNV ve SG sonucu, (c) KM Sonucu.

Farklı bir yaklaşım hiperspektral görüntülerdeki belirli spektral bant imgeleri kullanarak bitki indislerinin hesaplanmasıdır. Bu indislerden literatürde en sık kullanım bulanlardan biri Normalize Fark Bitki İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) olup tipik olarak yakın kızıl ötesi ve kırmızı dalga boyunda bulunan değerlere dayanmaktadır [8]. NDVI hesabı eşitlik 5'te verilmiştir.

$$NDVI = \frac{(R_{YKÖ} - R_{KIRMIZI})}{(R_{YKÖ} + R_{KIRMIZI})} \quad (5)$$

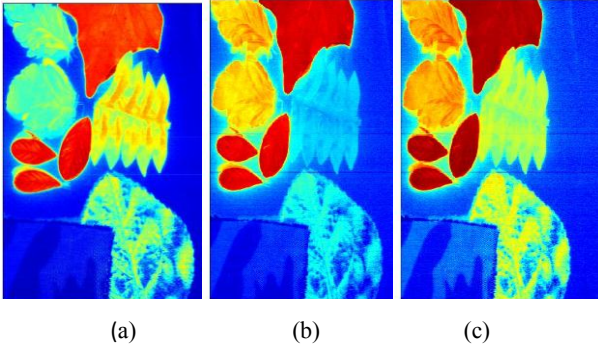
Bu eşitlikte, YKÖ yakın kızıl ötesi bandındaki değerleri, KIRMIZI kırmızı banttaki değerleri göstermektedir.

Önemli bitki indislerinden bir diğeri de yine [8]'de adı geçen Pigment Belirli Normalize Fark (Pigments Specified Normalized Difference - PSND) indisidir. PSND eşitliği (6)'daki gibi hesaplanmaktadır. Eşitlikte R alt indisle gösterilen sayılar o dalga boylarındaki yansıma imgesini göstermektedir.

$$PSND = \frac{(R_{800} - R_{675})}{(R_{800} + R_{675})} \quad (6)$$

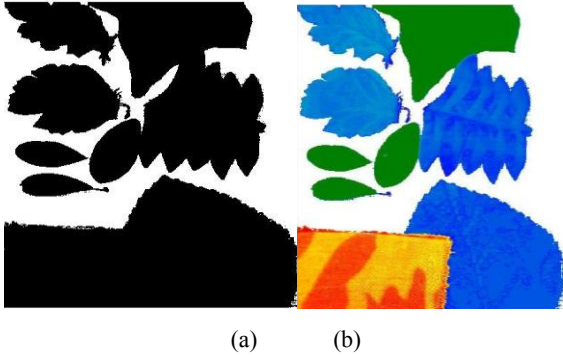
Şekil 7.a'da, Şekil 6.c'deki sunulan sonuç renkli olarak gösterilmiştir. Bu renklendirme ile en düşük değere koyu mavi en yüksek değere koyu kırmızı tonu atanarak aradaki değerler renk tonlarına yayılmıştır. Şekil 7.b'de hiperspektral verinin NDVI değerlerinden oluşan yapay renklendirilmiş görüntüsü, Şekil 7.c'de ise PSND değerlerinden oluşan yapay renklendirilmiş görüntüsü verilmiştir.

Şekil 7'deki üç farklı görüntüye bakıldığında hepsinde ortak olarak kırmızı tonları ile belirlenmiş (yüksek değerli) bölgelerin doğal bitkilere ait olduğu görülmektedir. Ancak tek görüntü üzerinden yorum yapıldığında belirlenecek eşige göre oluşacak görüntü içerisindeki bitki olmama ihtimali de vardır. Bu ihtimali ortadan kaldırmak için bu üç görüntünün değerleri eleman elemana çarpılarak indeksler ve algoritmalara ait sonuçlar kaynaştırılmıştır.



Şekil 7:Yapay renklendirilmiş gösterimler (a) SNV+SG+KM ile, (b) NVDI indeksleri ile, (c) PSND indeksleri ile.

Arkaplan çıkartımı için CIE renk modeli kullanılmıştır. Piksel spektrumları üzerinden spektral değerler ağırlıklandırılarak ışıklılık (L), kırmızı-yeşil eksenindeki değer (a) ve mavi-sarı eksenindeki değer (b) olmak üzere üç değere indirgenmiştir. Renk bilgisini tutan bu değerler sayesinde arkaplanın ortalama L , a ve b değerleri hesaplanmış ve bütün piksellerin renk uzayındaki fark değerleri (ΔE) üzerinden arkaplan maskesi hazırlanmıştır. Oluşan maskenin siyah-beyaz gösterimi Şekil 8.a'da verilmiştir. Arkaplan maskesinin tersi ile çarpılmış yapay renklendirilmiş sonuç imgesi Şekil 8.b'de verilmiştir. Bu görüntüde açık mavi tonları yapay bitkileri, sarı ve kırmızı tonları kamuflaj kumaşını ve yeşil tonları ise doğal yaprakları göstermektedir. Önerilen yöntem sonucunda doğal bitkiler, yapay bitkiler ve kamuflaj kumaşının birbirlerinden net olarak ayrıldığı görülmektedir.



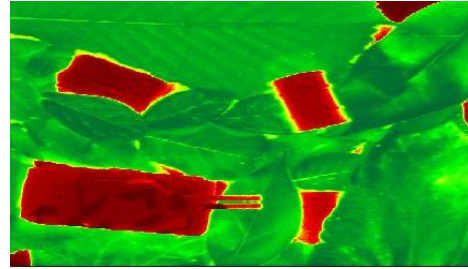
Şekil 8: (a) Arka plan maskesi, (b) Sonuç İmgesi.

4. Kamufle Olmuş Nesnelerin Tespiti

Bir önceki bölümde doğal ve yapay bitkiler ve kamuflaj kumaşları arasındaki farkları vurgulamak için kullanılan yaklaşımın kamufle olmuş nesnelere için başarımının ölçülmesi amacıyla iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar kapsamında farklı ağaçların yaprakları ve bu yapraklar ile benzer renklerdeki nesnelere kullanılarak gerçeğe yakın bir veri kümesi elde edilmiştir. Şekil 9'da RGB görüntüsü verilen veri kümesi için, önerilen yöntem sonucunda oluşan sonuç imgesi Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9: İkinci veri kümesine ait RGB görüntü.

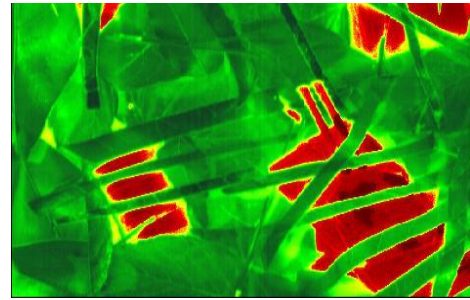


Şekil 10: İkinci veri kümesine ait sonuç imgesi.

Hazırlanan diğer veri kümesinde tanklar ve diğer askeri malzemelerin dal ve yaprakların arasında olma koşulu incelenmiştir. Şekil 11'de RGB görüntüsü verilen veri için elde edilen sonuçlar Şekil 12'de sunulmuştur. Görüldüğü üzere, önerilen yaklaşım ile elde edilen yüksek ayırt edicilik sayesinde kamufle olmuş malzemeler tespit edilebilmektedir.



Şekil 11: Üçüncü veri kümesine ait RGB görüntü.



Şekil 12: Üçüncü veri kümesine ait sonuç imgesi.

5. Teşekkür

Bu çalışma 2011K120330 nolu DPT projesi ve Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 0043.TGSD.2011 nolu Teknogirişim Sermayesi Desteği projesi kapsamında desteklenmiştir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, kamufrajlı bölgelerin hiperspektral görüntüleme ile tespiti gerçekleştirilmiştir. Kamufraj benzetimi için farklı spektral imzalara sahip yapay bitkiler, doğal bitkiler, kamufraj kumaşı ve oyuncak askeri malzemelerden üç ayrı veri kümesi oluşturulmuş ve hiperspektral sistem tarafından taranmıştır. Taranan görüntü kübü için bitkilerin hücresel ve yapısal özelliklerinden yola çıkılarak yapay bitkiler, kamufraj malzemeleri ve doğal bitkiler kolayca birbirinden ayırt edilebilmektedir. Önerilen yaklaşım uzaktan görüntüleme ile hedef tespiti kullanımına uygundur.

7. Kaynaklar

- [1] Ardouin J. P., Lévesque J., Rea T. A., “A Demonstration of hyperspectral image exploitation for military applications”, 10th International Conference on Information Fusion, 2007, Canada.
- [2] Winter E. M., “Detection of surface mines using hyperspectral sensors”, In Proceedings of the IEEE: Geoscience and Remote Sensing Symposium, September 2004, Anchorage, AK.
- [3] Bongiovi R.P., Hackwell J.A, Hayburst T.L., “Airborne LWIR hyperspectral measurements of military vehicles”, Proceedings Aerospace Applications Conference, February 3-10, 1996, Aspen, CO, USA.
- [4] Barnes R.J., Dhanoa M.S., Lister S.J., “Standard Normal Variate Transformation and De-trending of Near-Infrared Diffuse Reflectance,” in Applied Spectroscopy, 43 (5), 772-777, 1989.
- [5] Savitzky A., Golay J.E., “Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures,” in Analytical Chemistry, 36 (8), 1627–1639, 1964.
- [6] Kubelka P., “New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. Part I,” Journal of The Optical Society of America, 448-457, 1948.
- [7] Karaca A.C., Ertürk A., Güllü M. K., Elmas M., Ertürk S., “Hiperspektral Görüntüleme ile Adli Belgelerdeki Bulguların Analizi,” 20. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 2012, Fethiye.
- [8] Thenkabail P.S., Lyon J.G., Huete A., *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*, CRC Press, 2011.