

Hiperspektral Görüntülerde Hedef Tespiti

Target Detection in Hyperspectral Images

Ahmet Karakaya¹, Seniha Esen Yüksel²

¹Aselsan, Ankara, Türkiye
akarakaya@aselsan.com.tr

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye
eyuksel@ee.hacettepe.edu.tr

Özetçe— Hiperspektral görüntülerde hedef tespiti birçok uygulama açısından önem arz etmektedir. Bu tür uygulamalara örnek olarak arama kurtarma faaliyetleri, savunma sistemlerinde hedefin bulunması, maden arama, sınır güvenliği ve mayın tespiti verilebilir. Bu çalışmada kentin çeşitli yerlerine yerleştirilmiş, yarı-piksel çözünürlüklerde yedi farklı materyalden oluşan dokuz adet hedefin tespiti amaçlanmıştır. Bunun için sekiz ayrı hiperspektral hedef tespit algoritması karşılaştırılmıştır ve en başarılı bulunan üç algoritmanın iki farklı şekilde füzyonu yapılmıştır. Sonuçlar ROC eğrileriyle karşılaştırılmış, ve işaretli ACE, CEM ve AMSD algoritmalarının füzyonunun diğer algoritmalara oranla çok yüksek başarılarla ulaşabildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler — hiperspektral görüntü; hedef tespiti.

Abstract— Target detection in hyperspectral images is important in many applications including search and rescue operations, defense systems, mineral exploration, mine detection and border security. In this study, the goal is to detect the nine sub-pixel targets, from seven different materials, that are placed around the town. For this purpose, eight hyperspectral target detection algorithms are compared and the three most successful algorithms are fused together. The results are compared with ROC curves, and it is found that the fusion of signed ACE, CEM and AMSD algorithms can achieve very successful results in comparison to the other algorithms.

Keywords — hyperspectral image; target detection.

I. GİRİŞ

Hiperspektral görüntü, aynı bölgenin farklı dalgaboylarındaki çok sayıda görüntüsünün birleşimidir. Yerden yansıyan güneş ışınları farklı dalgaboyundaki ışığı ölçebilen hiperspektral sensörlere düşer ve hiperspektral görüntü oluşur. Oluşan bu görüntü spektral parlaklık (*radiance*) görüntüsüdür. Yansıtıcılık cisimlerin ışığı yansıtma oranına göre 0 ile 1 arasında değişen bir değerdir. Maddelerin farklı dalgaboylarındaki ışıklar için yansıtıcılık değerleri farklıdır. Bir maddenin tüm bantlardaki yansıtıcılık değerlerinin birleşimi o maddenin spektral imzasıdır. Maddelerin spektral imzaları birbirinden farklıdır. Maddelerin bu özelliği sayesinde hedef tespit

uygulamaları geliştirilebilir. Hedef tespit yöntemlerinde hedefin spektral imzası ile görüntüdeki pikseller arasındaki korelasyon göz önünde bulundurulur. Bu bildiriye görüntüde yer alan 9 adet hedefin test edilmesi için 8 farklı algoritma test edilmiştir. Bu algoritmalar şunlardır: genelleştirilmiş görecelilik oranı testi (GLRT), uyarlanabilir tutarlılık yaklaşımı (ACE), işaretli ACE, koşullu enerji minimizasyonu (CEM), eşleştirme filtresi (MF), uyumlu eşleştirmeli altuzay bulucu (AMSD), ortogonal altuzay izdüşümü (OSP), Yapısal Olmayan Hibrit Bulucu (HUD). Bu algoritmalarından en başarılı üç algoritma seçilmiş, artı ve çarpım kuralları ile füzyon yapılarak en başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

II. KULLANILAN HİPERSPEKTRAL GÖRÜNTÜ

Yapılan çalışmada kullanılan hiperspektral veri, hiperspektral hedef tespit algoritmaları üzerinde çalışmak isteyen araştırmacılara veri sağlamak amacıyla oluşturulan internet tabanlı bir projeden temin edilmiştir [1-3]. Hiperspektral görüntü olarak hem spektral parlaklık (*radiance*) hem de spektral yansıma (*reflectance*) verileri mevcuttur. Ayrıca, görüntüde yer alan hedeflerin görüntüde bulunduğu bölgeler, hedeflerin spektral imzaları ve hedeflerin fotoğrafları da verilmiştir. Kullanılan hiperspektral görüntü HyVista isimli cihaz ile kontrol edilen HyMap isimli sensörden alınmıştır. 2006 yılının Temmuz ayında, ABD'nin Montana eyaletinin Chooke City bölgesinde görüntüleme yapılmıştır. Bu görüntü yaklaşık olarak 3 metre çözünürlüğe sahip olmakta birlikte 200x800 pikseldir ve 126 banttan oluşmaktadır. Hiperspektral veriyi oluşturan bölgenin RGB kamera görüntüsü Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Kullanılan Verinin RGB Kamera Görüntüsü [3]

Bu çalışmada kullanılan görüntü içerisinde 7 farklı cisimden oluşan 9 adet hedef bulunmaktadır. Farklı 4 adet bez ve 3 adet sivil araç hedef olarak görüntüde yer almaktadır. Bezden hedefler F1, F2, F3 ve F4 olarak, araç hedefler V1, V2 ve V3 olarak isimlendirilmiştir. F1 ve F2 hedefleri 3m x 3m ebatlarındadır. Bezden hedeflerden F3 ve F4 hedefleri görüntüde 2 kez kullanılmıştır. F3a ve F4a hedefleri 2m x 2m ebatlarında, F3b ve F4b hedefleri 1m x 1m ebatlarındadır. V1 hedefi 4m x 2m, V2 hedefi 3m x 1.7m ve V3 hedefi 4,5m x 1.6m ebatlarındadır.

III. HEDEF TESPİTİ

Hedef tespitinde amaç spektral imzası bilinen hedefin görüntüdeki yerini bulabilmektir. Bir piksel tamamen bulunması istenen hedeften oluşuyorsa tam piksel hedef olarak, hedef ve arkaplanın katışımından oluşuyorsa yarı piksel hedef olarak adlandırılır. Bu çalışmada kullanılan hiperspektral görüntüdeki hedefler görüntü çözünürlüğüne göre küçük olduğu için yarı piksel hedef olarak değerlendirilmektedir.

Aşağıdaki formüllerde \mathbf{x} test edilen pikseli, $\mathbf{\Gamma}$ arkaplanın kovaryans matrisini, $\boldsymbol{\mu}$ arkaplanın ortalama değerini, \mathbf{S} hedefin spektral imzasını, M toplam örnek sayısını, \mathbf{B} arkaplan son elemanlarını, \mathbf{P}_B^+ ortogonal alt uzay izdüşümünü ifade etmektedir.

A. Kullanılan Hedef Tespit Algoritmaları

Bu çalışmada 8 hedef tespit algoritması kullanılmıştır:

- GLRT (*Generalized Likelihood Ratio Test*, Genelleştirilmiş Görecelik Oranı Testi) [4-9],

$$D_{GLRT}(\mathbf{x}) = \frac{[(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu})^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})]^2}{[(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu})^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} (\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu})] \cdot [1 + (\frac{1}{M}) \cdot (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})]} \quad (1)$$

- ACE (*Adaptive Coherence Estimator*, Uyarlanabilir Tutarlılık Yaklaşımı) [5-7, 10],

$$D_{ACE}(\mathbf{x}) = \frac{[(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu})^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})]^2}{[(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu})^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} (\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu})] \cdot [(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})]} \quad (2)$$

- İşaretli ACE (*Signed Adaptive Coherence Estimator*, İşaretli Uyarlanabilir Tutarlılık Yaklaşımı) [5-7, 10],

$$D_{\text{işaretli ACE}}(\mathbf{x}) = \text{sign}[(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})] \cdot D_{ACE}(\mathbf{x}) \quad (3)$$

- CEM (*Constrained Energy Minimization*, Koşullu Enerji Minimizasyonu) [5-7, 10-11],

$$D_{CEM}(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{S}^T \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{x}}{\mathbf{S}^T \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}} \quad (4)$$

- MF (*Matched Filter*, Eşleştirme Filtresi) [6, 7, 10],

$$D_{MF}(\mathbf{x}) = \frac{(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu})^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})}{(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu})^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} (\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu})} \quad (5)$$

- AMSD (*Adaptive Matched Subspace Detector*, Uyumlu Eşleştirmeli Altuzay Bulucu) [7, 11],

$$D_{AMSD}(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T (\mathbf{P}_B^+ - \mathbf{P}_Z^+) \mathbf{x}}{\mathbf{x}^T \mathbf{P}_Z^+ \mathbf{x}} \quad (6)$$

- OSP (*Orthogonal Subspace Projection*, Ortogonal Altuzay İzdüşümü) [7, 10, 11],

$$D_{OSP}(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{S}^T \mathbf{P}_B^+ \mathbf{x}}{\mathbf{S}^T \mathbf{P}_B^+ \mathbf{S}} \quad (7)$$

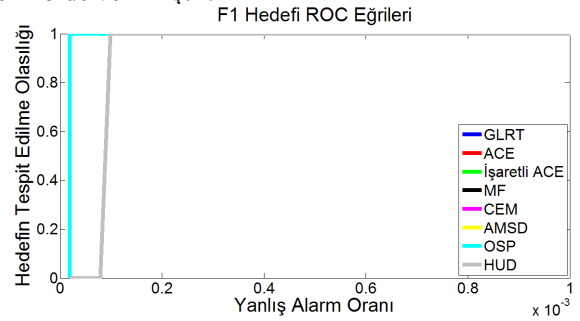
- HUD (*Hybrid Unstructured Detector*, Yapısal Olmayan Hibrit Bulucu) [7, 11]

$$D_{HUD}(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} \hat{\mathbf{S}} \mathbf{a}}{\mathbf{x}^T \hat{\mathbf{\Gamma}}^{-1} \mathbf{x}} \quad (8)$$

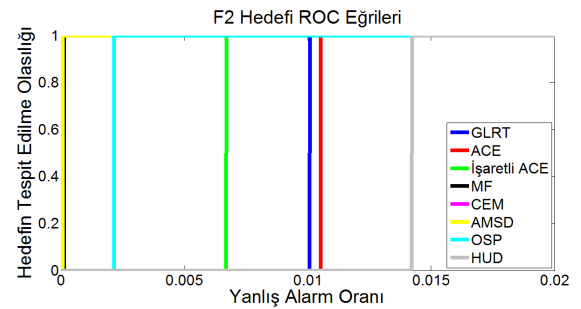
yöntemleri üzerinde çalışma yapılmıştır.

B. Hedef Tespiti Yapılması

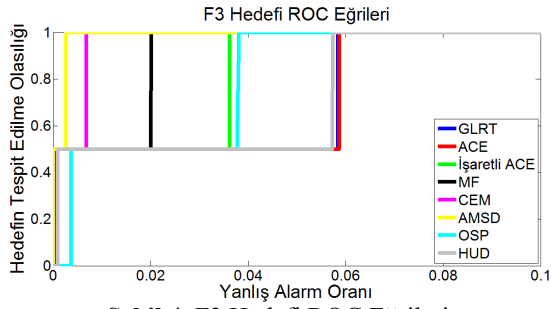
Hedef tespit algoritmaları bütün hedefler üzerinde test edilmiştir. Hedefler için algoritmaların ROC (*Receiver Operating Characteristic*, Alıcı Çalışma Karakteristiği) eğrileri çizilmiştir. Hedeflerin ROC eğrileri; F1 için Şekil 2'de, F2 için Şekil 3'te, F3 için Şekil 4'te, F4 için Şekil 5'te, V1 için Şekil 6'da, V2 için Şekil 7'de ve V3 için Şekil 8'de verilmiştir.



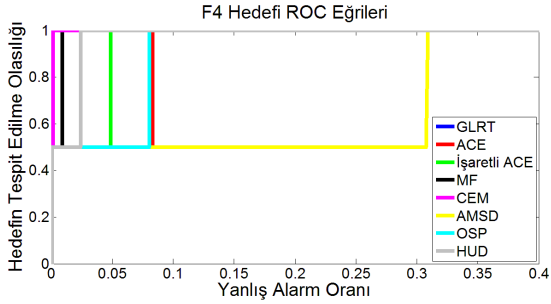
Şekil 2. F1 Hedefi ROC Eğrileri



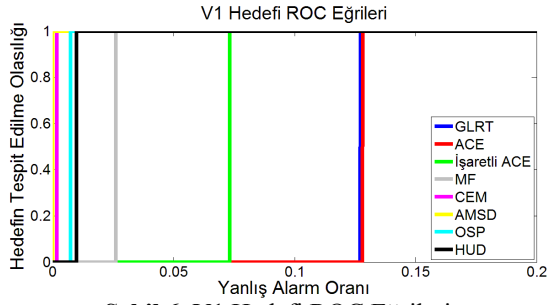
Şekil 3. F2 Hedefi ROC Eğrileri



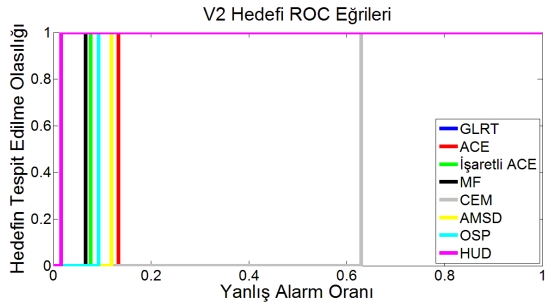
Şekil 4. F3 Hedefi ROC Eğrileri



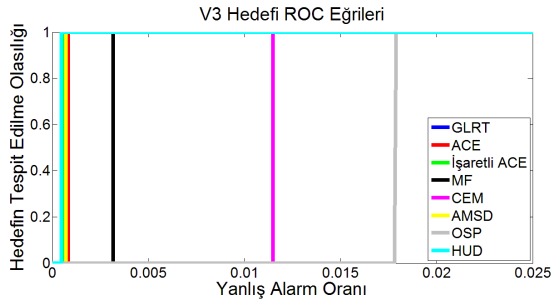
Şekil 5. F4 Hedefi ROC Eğrileri



Şekil 6. V1 Hedefi ROC Eğrileri



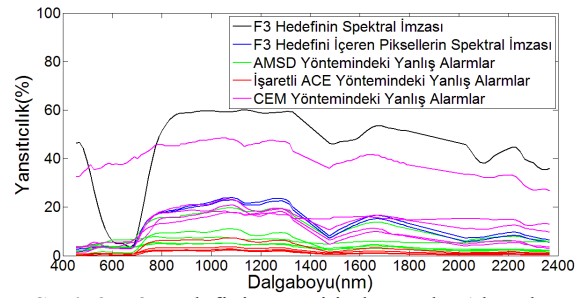
Şekil 7. V2 Hedefi ROC Eğrileri



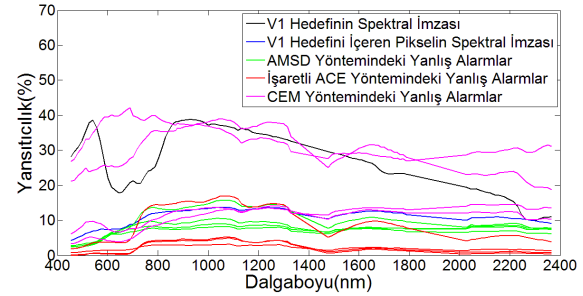
Şekil 8. V3 Hedefi ROC Eğrileri

IV. ALGORİTMALARIN KAYNAŞTIRILMASI

ACE yöntemi GLRT yönteminden türetilmiş bir yöntemdir ve elde edilen sonuçlar GLRT yöntemi ile elde edilen sonuçlara oldukça yakındır. İşaretli ACE yöntemi de ACE yönteminin ışığı soğuran ya da yansıtıcı maddeleri ayırt edecek şekilde geliştirilmesiyle oluşmuştur. Yapılan çalışmalarda İşaretli ACE yönteminin bütün hedefler için GLRT ve ACE yöntemlerinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. ROC eğrileri incelendiğinde AMSD, CEM ve İşaretli ACE yöntemlerinin genel olarak diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10'da AMSD, CEM ve İşaretli ACE yöntemlerinde oluşan yanlış alarmların spektral imzaları verilmiştir.

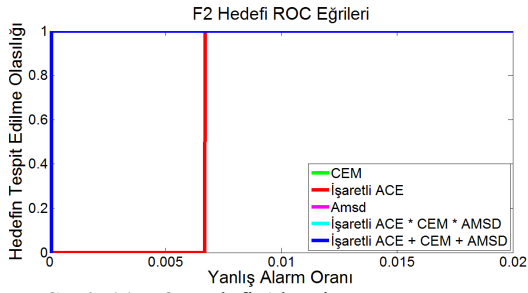


Şekil 9. F3 Hedefinin Tespitinde Yanlış Alarmlar

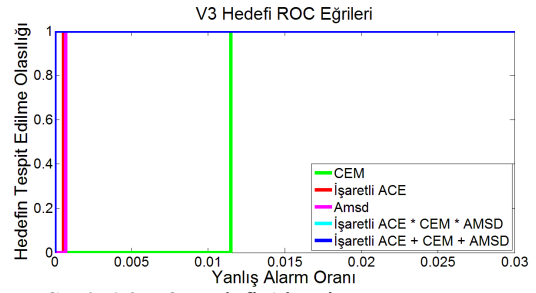


Şekil 10. V1 Hedefinin Tespitinde Yanlış Alarmlar

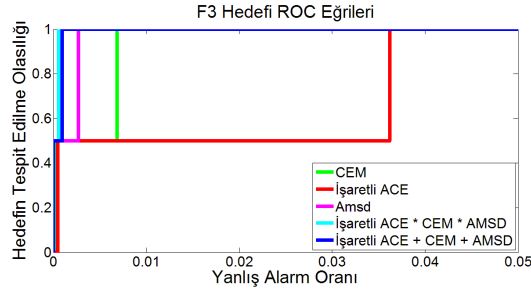
Şekil 9 ve Şekil 10'da İşaretli ACE, CEM ve AMSD algoritmalarında görülen yanlış alarmların spektral genliklerinin birbirinden farklı oldukları görülmektedir. Bu farklılıktan yararlanılarak yanlış alarmların azaltılabilmesi amacıyla bu yöntemler kaynaştırılmıştır. Algoritma kaynaştırmaları yapılmadan önce algoritma çıktıları 0-1 arasında değişen değerler alacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Bu işlem yapıldıktan algoritmaların kaynaştırılmasında, algoritma çıktılarının çarpımı ve toplanması yöntemleri kullanılmıştır. Algoritma kaynaştırmalarından oluşan ROC eğrileri F2, F3, F4, V1, V2 ve V3 hedefleri için sırasıyla Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Algoritma kaynaştırmalarından oluşan F1 hedefi ROC eğrisi Şekil 2'de verilen OSP algoritması ROC eğrisi ile aynı olduğu için F1 hedefinin ROC eğrisi bu bölümde tekrar verilmemiştir.



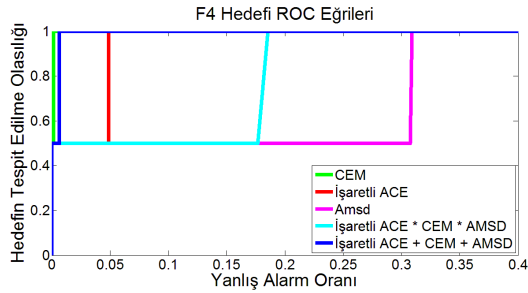
Şekil 11. F2 Hedefi Algoritma Kaynaşımı



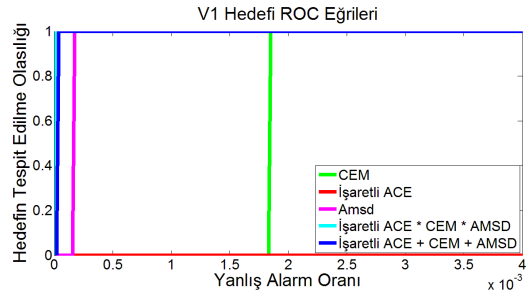
Şekil 16. V3 Hedefi Algoritma Kaynaşımı



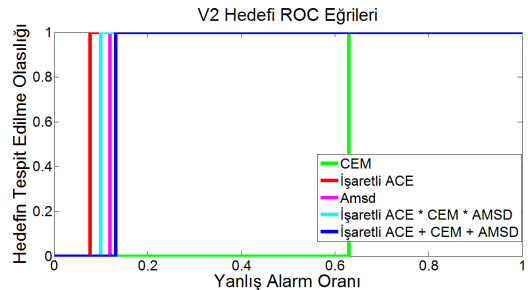
Şekil 12. F3 Hedefi Algoritma Kaynaşımı



Şekil 13. F4 Hedefi Algoritma Kaynaşımı



Şekil 14. V1 Hedefi Algoritma Kaynaşımı



Şekil 15. V2 Hedefi Algoritma Kaynaşımı

V. SONUÇLAR

Hedeflerin ROC eğrileri göz önünde bulundurulursa hiçbir algoritma için bütün hedefler üzerinde en iyi sonucu vermemiştir. Farklı hedef ve farklı arkaplanlar için algoritmanın performansı değişken olabilmektedir. Yarı piksel bez hedeflerde hedefin piksel içerisinde kapladığı alan pikselin yarısına yakın ya da daha yüksek olduğu durumda en iyi sonuçlar AMSD yöntemi ile elde edilmiştir. AMSD yöntemi arkaplanın son elemanlarını kullanarak arkaplan modellemesi yapar. Arkaplanın son elemanlarının bulunması da işlem yükü gerektireceğinden AMSD yöntemine dezavantaj sağlar. Algoritmaların kaynaşımalarının ROC eğrilerinden, algoritma kaynaştırmanın hata oranlarını oldukça azalttığı görülmektedir. AMSD, İşaretli ACE ve CEM algoritmalarında oluşan yanlış alarmların spektral özelliklerinin genel olarak birbirinden farklı özelliklerde olması bu iyileştirmede etken rol oynamıştır.

VI. TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 115E318 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] D. Snyder, J.K.I., Fairweather, R. Crabtree, J. Shive, S. Hager, *Development of a Web-based Application to Evaluate Target Finding Algorithms*.
- [2] Shen Sylvia S, K.J.P., Snyder David K, Lewis Paul E, *Unresolved Target Detection Blind Test Project Overview*. 2010.
- [3] *Veri İndirme Sayfası*, <http://dirs.cis.rit.edu/blindtest/>
- [4] Ayoub T.F, H.A.M., *Modified GLRT Signal Detection Algorithm*. Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions.
- [5] Cohen Yuval, A.Y., Blumberg Dan G., Rotman Stanley R., *Evaluating Subpixel Target Detection Algorithms in Hyperspectral Imagery*. Journal of Electrical and Computer Engineering, 2012.
- [6] Dimitris Manolakis, D.M., and Gary A. Shaw, *Hyperspectral Image Processing For Automatic Target Detection Applications*.
- [7] <http://davidkun.github.io/HyperSpectralToolbox/>
- [8] Kelly, E.J., *Adaptive Detection in Non-Stationary Interference*, 1987
- [9] Kelly, E.J.F., K.M., *Adaptive Detection and Parameter Estimation for Multidimensional Signal Models*. 1989.
- [10] Shen, S.S., et al., *A comparative study of target detection algorithms for hyperspectral imagery*. 2009.
- [11] Joshua Broadwater, R.C., *Hybrid Detectors For Subpiksel Targets*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007