

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/324220703>

Dinamik Zaman Bükme ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü ile Uydu Görüntülerinde Bant Eşleştirme Satellite Image Band Registration with Dynamic Time Warping and Discr...

Conference Paper · May 2018

CITATIONS

0

READS

132

4 authors, including:



Derviş Utku Ufuk

Tübitak Uzay

4 PUBLICATIONS 3 CITATIONS

SEE PROFILE



Mustafa Teke

Tübitak Uzay

70 PUBLICATIONS 334 CITATIONS

SEE PROFILE



Murat Ozbayoglu

TOBB University of Economics and Technology

99 PUBLICATIONS 868 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Simulation and Modeling for Coal Gasification [View project](#)



Smart Agriculture Feasibility Project [View project](#)

Dinamik Zaman Bükme ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü ile Uydu Görüntülerinde Bant Eşleştirme

Satellite Image Band Registration with Dynamic Time Warping and Discrete Wavelet Transform

D. Utku UFUK^{1,2}, İbrahim S. AÇIKGÖZ¹, Mustafa TEKE¹, A. Murat ÖZBAYOĞLU²

¹TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye
{utku.ufuk, ibrahim.acikgoz, mustafa.teke}@tubitak.gov.tr

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, TOBB ETÜ, Ankara, Türkiye
{dufuk, mozbayoglu}@etu.edu.tr

Özetçe —Yer gözlem uyduları tarafından çekilen görüntülerin spektral bantları arasında, mükemmel olmayan kamera sensör diziliminden kaynaklanan bazı kaymalar meydana gelebilmektedir. Bu çalışmada, bantlar arasındaki bu tip kaymaları düzeltmek için Dinamik Zaman Bükme (DZB) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) algoritmalarına dayalı ve hesaplamsal olarak basit bir bant eşleştirme yöntemi önerilmektedir. Bu yöntem 10 kare GÖKTÜRK-2 görüntüsü üzerinde test edilmiş ve Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) tabanlı bir yöntemle karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemden elde edilen sonuçların SIFT'e oldukça yakın kalitede olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler—uydu görüntüsü, görüntü işleme, bant eşleştirme, dinamik zaman bükme, ayrık dalgacık dönüşümü

Abstract—Due to the imperfect physical arrangement of camera sensors, spectral bands of ground observation satellite images are usually shifted relative to each other. In order to address this issue, we propose a computationally simple band registration method which is based on Dynamic Time Warping (DTW) and Discrete Wavelet Transform (DWT) algorithms. This method has been tested on 10 frames of GÖKTÜRK-2 images and compared to a Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) based method. In terms of quality, the proposed method have yielded very close results compared to SIFT.

Keywords—satellite image, image processing, band registration, dynamic time warping, discrete wavelet transform

I. GİRİŞ

Yer gözlem uydularında bulunan kameralar, sıralı şekilde görüntü alabilen çizgisel sensörlerden oluşmaktadır. Mükemmel olması mümkün olmayan mekansal dizilimlerinden kaynaklı olarak, bu sensörlerin tümü aynı anda aynı bakış açısına sahip olamamaktadır. Bu durum çekilen görüntülere ait spektral bantlar arasında değişken miktarlarda kaymaların meydana gelmesine yol açmaktadır. Kayma miktarlarının sabit olmaması uydunun zaman içindeki irtifa değişiklikleri, değişken görüntü çekme açıları ve görüntülenen arazilerin farklı coğrafi özellikleri vb. sebeplerden kaynaklanmaktadır. Bu değişken

kaymaların giderilmesi için yapılan görüntü işleme aşamasına bant eşleştirme adı verilmektedir.

Nihai görüntünün hem mekansal hem de spektral kalitesine doğrudan etkisi olan bir adım olduğundan, bant eşleştirme uydu görüntü işleme sürecinin en önemli aşamalarından biri olarak kabul edilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) algoritmasına dayalı yöntemlerin bant eşleştirmede sıklıkla kullanıldığı görülmektedir [1], [2]. Yakın zamanda Speeded-Up Robust Features (SURF) kullanımı da alternatif olarak sunulmuş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [3]. Ayrıca SIFT'ten türetilmiş olan Gradient Location and Orientation Histogram (GLOH) yöntemi de bu problemi çözmek için kullanılan yöntemler arasındadır. [4]. Bu gibi öznitelik bulma tabanlı yöntemlerin uydu görüntülerinin bant eşleştirilmesinde kullanılması ve birbiriyle karşılaştırılması konusunda güncel çalışmalar bulunmaktadır [5]. Bu tür yöntemlerin ortak özelliği hesaplamsal karmaşıklıklarının oldukça yüksek olmasıdır.

Neredeyse gerçek zamanlı uygulamalarda ve yüksek çözünürlüklü kameralara sahip uydular tarafından üretilen görüntülerin işlenmesinde kullanılan algoritmaların zaman performansları kritik önem taşıyabilmektedir. Bu çalışmada Dinamik Zaman Bükme (DZB) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) algoritmalarına dayanan, karmaşıklığı daha düşük bir yöntem önerilmiştir.

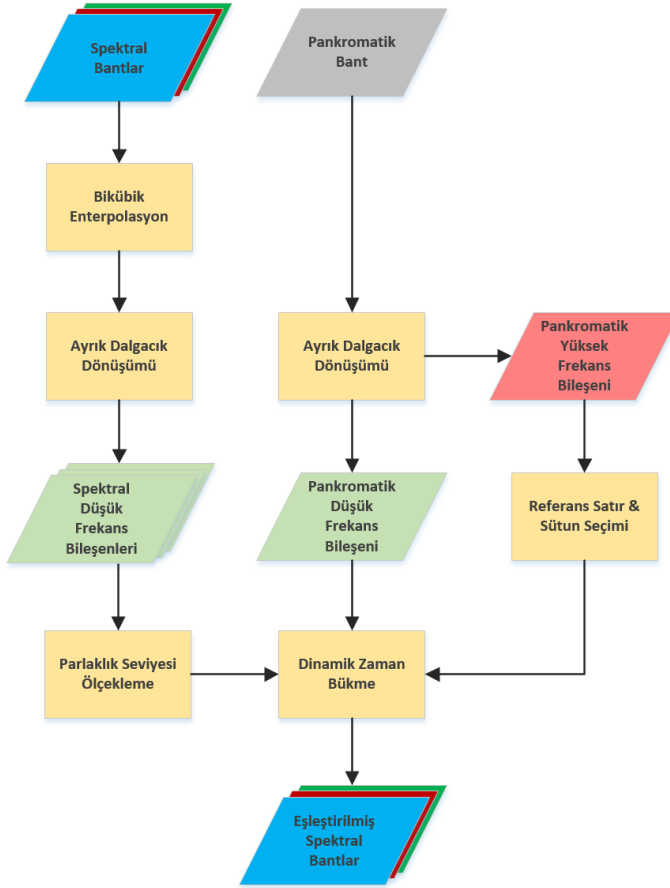
Önerilen yöntem GÖKTÜRK-2 uydu görüntülerinin kırmızı, yeşil ve mavi spektral bantları üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar GÖKTÜRK-2 için halihazırda kullanılan SIFT tabanlı bant eşleştirme yöntemiyle karşılaştırılmıştır [2], [6].

Önerilen bant eşleştirme yöntemi sıradaki bölümde detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde bant eşleştirme sonucunda elde edilen görüntülerin kalitesini ölçme süreci hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde deney sonuçları paylaşılmakta ve son bölümde genel bir değerlendirme yapılmaktadır.

II. BANT EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ

Önerilen yöntemi meydana getiren her bir adım bu bölümün devamında detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Yöntemin akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Aşağıdakiler ise doğruluk-performans ödünleşimini optimize etmek için kullanılabilecek parametrelerdir:

- *Referans satır ve sütun sayısı (N)*: Yöntemin işleyiş prensibi gereği, eşleştirme yapmak için pankromatik banttan N adet referans satır ve sütun seçilmektedir. Bu değerin artırılması hata toleransını güçlendirecek; ancak çalışma zamanını olumsuz etkileyecektir.
- *Kaydırma aralığı (R)*: Geçmiş veri analiz edilerek, her bir spektral bant için yatay ve düşeyde meydana gelebilecek maksimum kayma miktarları saptanabilir. Bu miktarların bilinmesi halinde, kaydırma aralığı sınırlanarak sonuç doğruluğu olumsuz etkilenmeden zaman performansı iyileştirilebilir.



Şekil 1: Önerilen bant eşleştirme yönteminin akış diyagramı

A. Bikübük Entropolasyon

Eşleştirilecek tüm spektral bantlar bikübük entropolasyon işleminden geçirilerek pankromatik bant ile aynı çözünürlüğe yükseltilir. GÖKTÜRK-2 görüntülerinde pankromatik bant çözünürlüğü spektral bantların iki katıdır. Dolayısıyla spektral bantlar bu adımda iki kat büyütülmekte ve görüntü boyutları eşitlenmektedir.

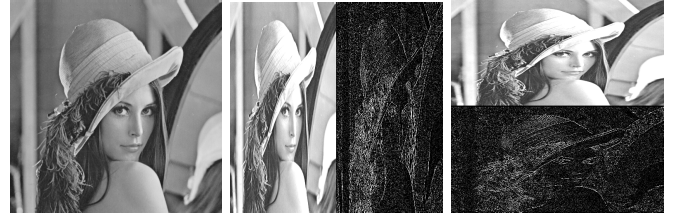
B. Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD)

ADD, tek boyutlu bir sinyali düşük ve yüksek frekanslı iki bileşene ayıran bir dönüşümdür. Ortaya çıkan bu iki bileşenin toplam uzunluğu, orijinal sinyal uzunluğuna eşittir.

Bu adımda pankromatik ve spektral bantlara ait tüm piksel satırları ADD ile düşük ve yüksek frekans bileşenlerine ayrıştırılır. Daha sonra aynı işlem sütunlar için de uygulanır. Bunun sonucunda her bir bant için aşağıdaki 4 bileşen elde edilir:

- Yatay düşük frekans bileşeni
- Yatay yüksek frekans bileşeni
- Düşey düşük frekans bileşeni
- Düşey yüksek frekans bileşeni

Bu adımda yapılan işlemin örnek bir görüntüye uygulanması sonucunda elde edilebilecek bileşenler Şekil 2'de gösterilmektedir. Burada da görülebileceği gibi ADD, bir görüntünün frekans karakteristiğini mekansal olarak analiz etmeye olanak sağlamaktadır.



Şekil 2: (a) Örnek girdi görüntüsü (b) Yataydaki düşük ve yüksek frekanslı bileşenler (c) Düşeydeki düşük ve yüksek frekanslı bileşenler

C. Referans Satır ve Sütun Seçimi

Pankromatik banttan elde edilen yatay ve düşey yüksek frekans bileşenleri kullanılarak, bu adımda DZB algoritmasına referans olarak verilecek satır ve sütunlar seçilir.

Öncelikle yüksek frekanslı yatay bileşende bulunan satırlardaki ADD katsayılarının mutlak değerlerinin toplamı hesaplanır. Bunlar arasından en yüksek toplamı veren N adet satır — yani en yüksek frekanslı N adet satır — referans olarak seçilir. Daha sonra benzer şekilde yüksek frekanslı düşey bileşenler analiz edilerek en yüksek frekanslı N adet sütun referans olarak seçilir.

En yüksek frekanslı satır ve sütunların referans olarak seçilmesindeki amaç, DZB aşamasında hatalı eşleştirme yapma olasılığını en aza indirmektir. Örneğin deniz ve çöl gibi bölgelerden alınan satır ve sütunlar, aynı koordinatlara denk gelmeseler bile birbirlerine benzeyecektir. Dolayısıyla bu tip düşük frekanslı satır ve sütunların referans olarak seçilmesi DZB algoritmasını yanıltarak hatalı eşleştirme olasılığını artıracaktır. Buna karşın, aynı koordinatlara denk gelmeyen yüksek frekanslı satır ve sütunların birbirine benzeme ihtimali oldukça düşüktür.

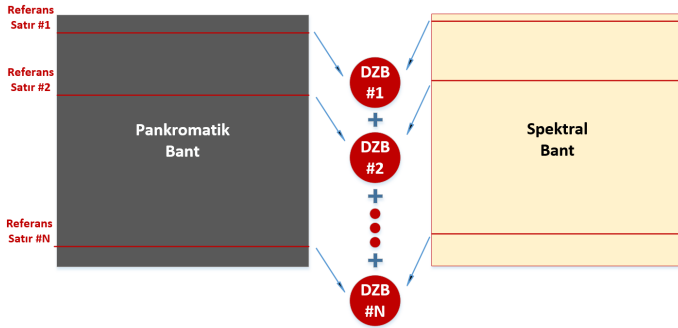
D. Parlaklık Seviyesi Ölçekleme

Pankromatik ve spektral bantların ortalama parlaklık seviyeleri birbirlerine göre önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Bu adımda spektral bantlardan elde edilen düşük frekans bileşenlerindeki¹ tüm pikseller, ortalama parlaklıkları pankromatik banttan elde edilen düşük frekanslı bileşenin ortalama parlaklık seviyesine eşit olacak şekilde ölçeklenir. Yapılan deneyler sonucunda, parlaklık seviyelerinin ölçeklenmemesi halinde DZB algoritmasının hata yapma oranının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir.

E. Dinamik Zaman Bükme (DZB)

DZB algoritması, iki adet tek boyutlu sinyal arasındaki benzerliği analiz eder ve buna ters orantılı bir uzaklık değeri hesaplar [7]. Böylece birbirine benzeyen sinyaller için küçük, birbirine benzemeyen sinyaller için büyük bir uzaklık değeri hesaplanır.

Bu adımda pankromatik banttan referans olarak seçilen satırlar ve mevcut spektral bantta bunlara denk gelen satırlar, çiftler halinde DZB algoritmasına girdi olarak verilir. Böylece N adet satır çifti DZB ile kıyaslanmış olur ve Şekil 3'te gösterildiği gibi bu kıyaslamalar sonucunda elde edilen N adet uzaklık değerinin toplamı hesaplanarak tek bir uzaklık değeri elde edilir.



Şekil 3: N adet satır çifti için toplam DZB uzaklığının hesaplanması

Bu işlem, mevcut spektral banttaki satırların $2R + 1$ farklı yön ve miktarda kaydırılmış hali için ayrı ayrı gerçekleştirilir. Tüm kaydırmalar için yapılan bu işlem sonucunda elde edilen $2R + 1$ adet uzaklık değeri arasından en küçük uzaklık değerinin elde edildiği kaydırma yönü ve miktarı tespit edilir ve bu şekilde mevcut spektral banttaki satırlar kaydırılır. Buradaki amaç, N adet referans satırın tamamı göz önünde bulundurularak pankromatik bant ile spektral bant arasında en yüksek benzerliğin yakalandığı kayma yönü ve miktarını bulmaktır.

Örneğin R parametresinin 10 olması durumunda, mevcut spektral bantı 10 satır yukarıdan başlayıp 10 satır aşağıya ininceye kadar toplam 21 farklı şekilde kaydırmak mümkündür. Bu 21 farklı kaydırma şeklinin her biri için toplam DZB uzaklığı hesaplandıktan sonra bunlar arasından en küçük olanı seçilecektir.

¹Yöntemin hiçbir adımında spektral bantların yüksek frekanslı bileşenleri kullanılmamaktadır.

Satırların kaydırılması tamamlandıktan sonra sütunlar da benzer işlemler uygulanarak kaydırılır. Bu sürecin tüm spektral bantlar için işletilmesiyle bant eşleştirme tamamlanmış olur.

Bu adımda DZB algoritmasına girdi olarak verilen satır ve sütun çiftleri orijinal bantlardan değil, bu bantların düşük frekanslı ADD bileşenlerinden alınmaktadır. Bunun yapılmasındaki amaçlardan biri DZB algoritmasına gürültü seviyesi azaltılmış sinyaller vermek, bir diğeri ise çalışma zamanını azaltmaktır. Düşük frekanslı bileşenlerden alınan satır ve sütunlar yarı uzunlukta olduklarından DZB algoritması çok daha hızlı çalışmaktadır.

III. KALİTE ÖLÇÜTÜ

Bant eşleştirme sonucunda elde edilen görüntülerin kalitesini ölçmek için, eşleştirilmiş spektral bantlar ile pankromatik bant arasındaki korelasyona dayalı bir kalite ölçütü baz alınmıştır. Bu korelasyon metriğini hesaplamak için öncelikle pan keskinleştirme, daha sonra ise mekansal korelasyon hesaplama işlemi gerçekleştirilmektedir.

A. Pan Keskinleştirme

Pan keskinleştirme yöntemi olarak, hem mekansal kalitenin hem de spektral kalitenin korunduğu bir füzyon işlemi olan hiperküre renk uzayı tercih edilmiştir. Bu yöntem, C boyutlu kartezyen uzayının C boyutlu hiperküre uzayına dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır [8]. C adet banttan meydana gelen mulitspektral görüntü için C adet hiperküre açısı hesaplanır ve bir küreye renk projeksiyonu yapılır. Daha sonra kürenin çözünürlüğü, pankromatik görüntünün yoğunluğu ile zenginleştirilir.

B. Mekansal Korelasyon Hesaplama

Mekansal korelasyon metriğinin hesaplanması için keskinleştirilmiş her bir spektral bant, yüksek geçiren bir filtre ile konvolüsyon işlemine tabi tutulur [9]. 0 ile 1 arasında değerler alabilen bu metriğin 1'e olan yakınlığı, eşleştirilmiş spektral bantlardaki mekansal doğruluğun ne derece korunduğunu göstermektedir.

IV. DENEYLER

GÖKTÜRK-2 uydusu tarafından çekilmiş olan 10 adet kare görüntü kullanılarak yapılan deneylerde, beş farklı N parametresi için önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar ve GÖKTÜRK-2 görüntülerinin işlenmesinde kullanılan SIFT tabanlı mevcut eşleştirme yönteminden elde edilen sonuçlar yukarıdaki kalite ölçütüne göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Şekil 4'te, elde edilen korelasyon metriklerinin yanı sıra bant eşleştirme yapılmamış ham görüntülerin bu yöntemler kullanılarak ne kadar iyileştirilebildiği gösterilmektedir. Önerilen yöntem ortalama SIFT'e çok yakın kalitede sonuçlar üretmiştir. 2, 8 ve 9 numaralı test görüntülerinde ise elde edilen sonuçlar aşağı yukarı SIFT ile aynı kaliteye ulaşmıştır.

Deney sonuçlarından da anlaşılabileceği üzere, N parametresinin 25'ten daha fazla artırılması DZB tarafından üretilen sonuçların kalitesini kayda değer biçimde iyileştirmemektedir. Bu nedenle GÖKTÜRK-2 görüntüleri için N parametresinin 25 olarak seçilmesi doğruluk-performans ödünleşimi açısından mantıklı olacaktır.

Yapılan deneylerde R parametresi satırlar için 50, sütunlar için ise 10 olarak seçilmiştir. Bunun sebebi GÖKTÜRK-2 görüntülerinin spektral bantlarındaki satır ve sütunların bu değerlerden daha fazla kaymamasıdır.

Görüntü No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.	
DZB N = 5	Kırmızı	0,9710	0,9633	0,9424	0,9208	0,9320	0,9411	0,8594	0,9506	0,9782	0,9379	0,9397
	Yeşil	0,9957	0,9930	0,9835	0,9464	0,9654	0,9761	0,9248	0,9729	0,9912	0,9741	0,9723
	Mavi	0,9706	0,9477	0,9577	0,9691	0,9869	0,9688	0,9523	0,9815	0,9861	0,9433	0,9664
	Ort.	0,9791	0,9680	0,9612	0,9454	0,9615	0,9620	0,9122	0,9683	0,9851	0,9517	0,9595
DZB N = 15	Kırmızı	0,9722	0,9633	0,9424	0,9206	0,9320	0,9411	0,8420	0,9506	0,9782	0,9379	0,9380
	Yeşil	0,9959	0,9930	0,9835	0,9466	0,9654	0,9761	0,9174	0,9729	0,9912	0,9741	0,9716
	Mavi	0,9712	0,9477	0,9577	0,9730	0,9869	0,9688	0,9538	0,9815	0,9861	0,9433	0,9670
	Ort.	0,9798	0,9680	0,9612	0,9467	0,9615	0,9620	0,9044	0,9683	0,9851	0,9517	0,9589
DZB N = 25	Kırmızı	0,9722	0,9633	0,9424	0,9206	0,9320	0,9411	0,8701	0,9506	0,9782	0,9343	0,9405
	Yeşil	0,9959	0,9930	0,9835	0,9466	0,9654	0,9761	0,9274	0,9729	0,9912	0,9732	0,9725
	Mavi	0,9712	0,9477	0,9577	0,9730	0,9869	0,9688	0,9664	0,9815	0,9861	0,9682	0,9708
	Ort.	0,9798	0,9680	0,9612	0,9467	0,9615	0,9620	0,9213	0,9683	0,9851	0,9586	0,9612
DZB N = 35	Kırmızı	0,9722	0,9633	0,9424	0,9206	0,9320	0,9411	0,8736	0,9506	0,9782	0,9343	0,9408
	Yeşil	0,9959	0,9930	0,9835	0,9466	0,9654	0,9761	0,9284	0,9729	0,9912	0,9732	0,9726
	Mavi	0,9712	0,9477	0,9577	0,9730	0,9869	0,9688	0,9446	0,9815	0,9861	0,9682	0,9686
	Ort.	0,9798	0,9680	0,9612	0,9467	0,9615	0,9620	0,9155	0,9683	0,9851	0,9586	0,9607
DZB N = 45	Kırmızı	0,9722	0,9633	0,9476	0,9206	0,9320	0,9411	0,8796	0,9506	0,9782	0,9343	0,9420
	Yeşil	0,9959	0,9930	0,9847	0,9466	0,9654	0,9761	0,9302	0,9729	0,9912	0,9732	0,9729
	Mavi	0,9712	0,9477	0,9728	0,9730	0,9869	0,9688	0,9437	0,9815	0,9861	0,9682	0,9700
	Ort.	0,9798	0,9680	0,9684	0,9467	0,9615	0,9620	0,9179	0,9683	0,9851	0,9586	0,9616
SIFT	Kırmızı	0,9857	0,9753	0,9776	0,9469	0,9577	0,9741	0,9396	0,9413	0,9821	0,9568	0,9637
	Yeşil	0,9981	0,9955	0,9931	0,9653	0,9800	0,9899	0,9663	0,9698	0,9929	0,9802	0,9831
	Mavi	0,9822	0,9435	0,9826	0,9860	0,9839	0,9829	0,9822	0,9687	0,9874	0,9777	0,9777
	Ort.	0,9887	0,9714	0,9844	0,9661	0,9739	0,9823	0,9627	0,9600	0,9875	0,9716	0,9749

Method	Ort.
N=5	0,9595
N=15	0,9589
N=25	0,9612
N=35	0,9607
N=45	0,9616
SIFT	0,9749

■ Harm ■ N=5 ■ N=15 ■ N=25 ■ N=35 ■ N=45 ■ SIFT

Şekil 4: Eşleştirme yöntemlerinin sayısal karşılaştırması

V. SONUÇ

Bu çalışmada, uydu görüntülerinin spektral bantları arasında yatay ve düşeyde meydana gelen kaymaları gidererek bant eşleştirme yapan bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem GÖKTÜRK-2 uydusu tarafından çekilmiş olan 10 adet kare görüntü üzerinde denenmiş ve GÖKTÜRK-2 görüntülerinin işlenmesinde kullanılan SIFT tabanlı mevcut eşleştirme yöntemiyle kıyaslanmıştır. Yapılan testlerde, yöntemin SIFT'e oldukça yakın kalitede sonuçlar üretebildiği görülmüştür. Önerilen yöntemin sahip olduğu düşük hesaplamsal karmaşıklık da göz önünde bulundurulduğunda, elde edilen sonuçların oldukça başarılı olduğu düşünülmektedir.

DZB algoritması yapısı gereği paralelleştirmeye oldukça müsaittir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda önerilen yöntem GPU seviyesinde paralelleştirilerek, alternatif yöntemlerle sonuç doğruluğunun yanısıra zaman performansı açısından da kıyaslanacaktır.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma T.C. Kalkınma Bakanlığı tarafından desteklenen Milli Yer İstasyonu Geliştirme Projesi (MİYEG) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan GÖKTÜRK-2 verilerinin mülkiyeti Genelkurmay Başkanlığı'na aittir ve tüm hakları Genelkurmay Başkanlığı tarafından saklı tutulmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International journal of computer vision, 60(2), 91-110.
- [2] Teke, M., Vural, M. F., Temizel, A., Yardimci, Y. (2011). High-resolution multispectral satellite image matching using scale invariant feature transform and speeded up robust features. Journal of Applied Remote Sensing, 5(1), 053553.
- [3] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Van Gool, L. (2008). Speeded-up robust features (SURF). Computer vision and image understanding, 110(3), 346-359.
- [4] Mikolajczyk, K., Schmid, C. (2005). A performance evaluation of local descriptors. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 27(10), 1615-1630.
- [5] Tahoun, M., Shabayek, A. E. R., Nassar, H., Giovenco, M. M., Reulke, R., Emary, E., Hassanien, A. E. (2016). Satellite image matching and registration: A comparative study using invariant local features. In Image Feature Detectors and Descriptors (pp. 135-171). Springer, Cham.
- [6] Teke, M. (2016). Satellite image processing workflow for RASAT and Gökürk-2. Journal of Aeronautics and Space Technologies, 9(1), 1-13.
- [7] Müller, M. (2007). Dynamic time warping. Information retrieval for music and motion, 69-84.
- [8] Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F., Smallwood, S. (2010, April). WorldView-2 pan-sharpening. In Proceedings of the ASPRS 2010 Annual Conference, San Diego, CA, USA (Vol. 2630).
- [9] Açıkgöz, İ. S., Teke, M., Kutbay, U., Hardalaç, F. (2015, June). Performance evaluation of pansharpening methods on GPU for RASAT images. In Recent Advances in Space Technologies (RAST), 2015 7th International Conference on (pp. 283-288). IEEE.