

İşaret Dili İşleme ve Etkileşimli İşaret Dili Eğitim Araçları

Sign Language Processing and Interactive Tools for Sign Language Education

Oya Aran, Lale Akarun

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
{aranoya, akarun}@boun.edu.tr

Özetçe

İşaret dili, konuşma ve duyma engellilerin haberleşmek için kullandıkları ana dildir. Bu dilde, bilgiyi iletmek için el hareketlerinden olduğu gibi, vücut ve kafa hareketleri ve yüz ifadelerinden de yararlanır. İşaret dili tanıma, bilgisayarla görme için olduğu gibi doğal dil işleme, dilbilim ve psikoloji için de çok aktif bir araştırma konusudur. Bu çalışmada, literatürde işaret dili analizi ve tanıma üzerine yapılan çalışmaların geniş bir özetini sunduk ve bu çalışmaların etkileşimli işaret dili eğitimi üzerine uygulamalarını gösterdik.

Abstract

Sign language is the primary means of communication for deaf and mute people. In this language, not only hand gestures but also head and body movements and facial expressions are used to convey information. Sign language analysis is an important field of research in computer vision, natural language processing, linguistics and psychology. In this work we present an overview of sign language analysis and recognition techniques and their application to develop interactive tools for sign language education

1. Giriş

İşaret dili, temelinde el hareketleri ve el şekline dayanan fakat bunların yanında yüz mimiklerinin, baş ve vücut hareketlerinin de kullanıldığı görsel bir dildir. İşaret dilleri, işaretlerin basit bir bileşimi olmaktan çok, aynı sözlü diller gibi karmaşık gramer yapısına sahiptir ve her ülke için farklıdır. İşaret dillerinin çevresinde konuşulan sözlü dille benzerlik göstermesi gerekmez ama etkiler görülebilir. Kökleri Osmanlı işaret diline kadar uzandığı düşünülen Türk İşaret Dili hakkında çok fazla kaynak yoktur. İşitme engelliler okullarında işaret dili eğitiminin 1953 yılında yasaklanmasıyla beraber Türk İşaret Dili eğitimi kesintiye uğramış ve Türkiye'nin farklı yerlerinde konuşulan işaret dilleri birbirinden çeşitli farklılıklar göstermeye başlamıştır. Türk İşaret Dili hakkında hazırlanmış en kapsamlı kaynaklar, Milli Eğitim Bakanlığı tarafından 1995 yılında çıkarılmış olan görsel bir kitap [1] ve Türkiye Bilimler Akademisi ve Koç Üniversitesi tarafından hazırlanan İnternet sitesi [2] ve Ulrike Zeshan'ın yapmış olduğu araştırmalarıdır [3].

İşaret dilleriyle konuşma dilleri arasındaki farklardan biri, işaret dillerinin paralel yapısıdır: Konuşulan dillerde kelimeler arka arkaya gelir; buna karşın işaret dillerinde çeşitli vücut hareketleri paralel olarak yapılır. El hareketi ve el şekline eşlik eden yüz ifadesi, kafa ve vücut hareketine göre, yapılan işaret farklı anlamlar kazanabilir. Bu anlamlar temel anlamla ilişkili ufak değişiklikleri belirtebileceği gibi temel anlamı tamamen değiştiren nitelikte de olabilir.

2. İşaret Dili Analizi ve Tanıma

İşaret dili alanındaki ilk çalışmalar ele takılan ve çeşitli sensörleri olan eldivenlerle başladı. Bu sistemler kullanıcıların takması zor, ağır ve hareket kabiliyetini engelleyen eldivenler giymesini gerektiriyordu. Kamera donanımındaki teknolojik gelişim ve bilgisayarların hızlarındaki artışla beraber, 90'ların ortalarından başlayarak, kamera tabanlı sistemler kullanılmaya başlandı [4]. Bu sistemler kullanıcılara daha doğal bir ortam sağlamış olmalarına rağmen aynı zamanda çeşitli problemleri de beraberinde getirdiler. Kameradan elin, parmak pozisyonlarının bulunması ve bölütlenmesi, ellerin birbirini örtmesi gibi kamera tabanlı sistemlerin doğurduğu problemler yeni araştırma konuları olarak literatüre girdi.

Ele giyilen herhangi bir belirteç kullanmadan (renkli eldivenler, çeşitli noktalara yapılandırılmış çeşitli işaretler, vb.), sadece kamera görüntüsünü kullanarak el, parmak pozisyonları ve yüz noktalarının bulunması henüz tam olarak çözülmemiş bir konudur. İmge ve videolarda yüz bulma konusunda birçok çalışma vardır [5]. Yüz bulma problemi yüzün karakteristik bölümleri (gözler, kaşlar, burun, ağız, vb.) ve şeklini değiştirmeyen yapıyla el bulma problemine göre daha kolay bir problem olarak nitelendirilebilir. Elin sürekli değişebilen şekli, bu problemi yüz tanıma problemine göre zorlaştırmaktadır. El ve yüzün bulunmasındaki ilk aşama ten rengi kullanılarak renk bölütlemesi yapmaktır. Bu bölütleme yapılırken daha önceden belirlenmiş ten rengi eşik değerleri kullanılır. Bu eşik değerleri model tabanlı ya da histogram tabanlı yöntemlere bağlı olarak belirlenebilir [6]. Özellikle videolarda ten rengi ve kamera ayarları ışık şartlarına göre değişiklik gösterebildiği için eşik değerlerinin sistemin mevcut koşullara göre güncellenmesi bölütleme başarımını artırır. Burada elde edilen ten rengi pikselleri mevcut ten rengi eşik değerlerini güncellemek için kullanılır. El sınırlarının ayrıntılı olarak belirlenmesi, eşiklemeyi takiben alan büyüme ya da çift aşamalı eşikleme yöntemleri ile gerçekleştirilebilir.

Bilgisayarla görmede işaretlerin ve el hareketlerinin tanınması, uzun zamandan beri araştırmacıların ilgisini çekse de, ancak basit alt-problemler tanımlanıp bu problemlerde belli aşamalar kaydedilmiştir [7][8]. Bu alt problemlerden bazıları, belli işaretlerde kullanılan durağan el şekillerinin tanınması, el şeklinin değişiminden bağımsız olarak el izlencesinin tanımda kullanılması, el hareketlerinin bölütlenmesi, insan-bilgisayar iletişiminde kullanılacak sınırlı sayıda (sınırlı dağarcıklı) el hareketlerinin tanınması, kafa ve surat pozisyonunun bulunması ve belli sayıda yüz ifadesinin sınıflandırılmasıdır. Bu modalitelerin tümünün işaret dili tanımda kullanılmasına yönelik ancak sınırlı sayıda çalışma mevcuttur [9].

2.1. El Hareketinin Analizi

İşaret dillerinin hemen hemen hepsi durağan işaretlerin yanında hareketli işaretler de kullanır. Bu nedenle işaretin dinamiğinin modellenmesi işaret dili analizi için çok önemli bir yer tutar. El hareketinin analizinde iki aşama vardır: Alt seviye dinamiğinin modellenmesi ve üst seviye dinamiğinin modellenmesi.

Alt seviye dinamiğinin modellenmesi el izlemede kullanılır. Kalman süzgeci, Parçacık süzgeci [10] gibi teknikler elin mevcut pozisyonunu, hızını, ivmesini, vs. dikkate alarak elin bir sonraki karede nerede olacağını kestirmeye çalışırlar. Üst seviye modelleme ise yapılan hareketin/işaretin modellenmesidir.

Bu amaçla Saklı Markov Modelleri (HMM) [11], Zaman gecikmeli Sinir Ağları (TDNN) [12], Sonlu Durum Makineleri (FSM) [13], Dinamik Bayes Ağları (DBN) [14] ya da zamansal şablonlar [15] gibi zaman tabanlı teknikler kullanılabilir. Bu teknikler arasında Saklı Markov modelleri el hareketi tanıma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmış ve diğer tekniklere göre daha yüksek başarı göstermiştir [16].

2.2. El Şeklinin Analizi

Bilgisayarla görme tabanlı sistemlerle el şekli analizi için iki tip yöntem kullanılabilir: 3B modeller ya da görünüm tabanlı modeller [7][8]. 3B modeller, özellikle elin tüm eklemlerinin yerlerinin ve açılarının yüksek kesinlikte hesaplanması gerektiğinde kullanılırlar. Model tipi hacimsel, iskeletsel ya da nokta dağılımları olabilir. 3B modeller el şekli modellemede yüksek başarımlar getirmesine rağmen hesaplama karmaşıklığının yüksekliği bu modellerin zaman kritik sistemlerde kullanımını kısıtlar. Bu nedenle 3B modeller daha çok bilgisayar animasyonlarında kullanılır. Görünüm tabanlı modeller elin resimdeki görüntüsünü kullanarak analiz yaparlar. Analizin amacı el şeklini en iyi şekilde ifade edecek öznitelikler çıkarmaktır. Bu öznitelikler kenar, çevrit, siluet, imge momentleri, Hu momentleri, Zernike momentleri ya da yönelim histogramları olabilir. Görünüm tabanlı öznitelikler dışında, 2B deformasyon şablonları [17] ya da aktif çevritler [18] el çevritinin modellenmesinde kullanılabilir.

Literatürdeki el şekli tanımadaki çeşitli yöntemler işaret dilindeki hareketsiz işaretlerin ve parmak alfabelerinin tanınması problemine uygulanmıştır [19].

2.3. Yüz İfadesi ve Baş/vücut Hareketlerinin Analizi

İşaret dillerinde yüz ifadeleri, baş ve vücut hareketleri bazen kelimenin anlamını kuvvetlendirmek ya da zayıflatmak için, bazen tamamen değiştirmek için, bazen de tek başına kullanılır [9][3]. Bu işaretlerin tümü ele ait olmayan (non-manual) işaretler olarak adlandırılır. İşaret tanıma literatüründe ele ait işaretler ve ele ait olmayan işaretleri beraber kullanarak işaret analizi yapan çalışma sayısı azdır [9]. Bazı çalışmalarda, sadece yüz ifadesi [20], bazılarında ise sadece baş hareketi kullanılır [21]. Yüz ifadeleri ya da baş hareketleri bazen bir tek işarete karşılık geldiği gibi bazen de bir kaç işarete dağılmış olabilir. Bu nedenle ele ait ve ele ait olmayan işaretlerin beraber analizinde farklı zaman ölçeklerinin doğru bir şekilde birleştirilmesine dikkat edilmelidir.

2.4. İşaret Tanıma

İşaret tanıma üzerine yapılan ilk çalışmalar sınırlı dağarcıklı sistemler üzerine yoğunlaşmıştır. Starner ve Pentland Amerikan işaret dilinden (ASL) seçilmiş 40 işareti ayrıık ya da belli kısıtları sağlayan cümleler içinde tanıyabiliyorlardı [22]. 1997'de Vogler ve Metaxas [23] 53 işareten oluşan bir dağarcık önerdiler. Aynı yazarlar bir sonraki çalışmalarında işaretlerden de küçük parçaları HMM ile modelleyerek dağarcık sınırlarını aşmaya çalıştılar [24]. Küçük parçaların bulunmasındaki amaç, modellemeyi işaretler üzerinden değil de işaretleri oluşturan parçacıklar üzerinden yaparak, eğitilmesi gereken ve gelen bir test örneği için aranması gereken model sayısını düşürmek ve işlem yoğunluğunu azaltarak dağarcığı genişletmeye imkan vermektir. Dağarcığı genişletmek için farklı bir yaklaşım sunan Fang, Gao ve Zhao [25] çalışmalarında işaretlerin değişik özelliklerini kullanarak hiyerarşik bir yapı tanımladılar. Bu hiyerarşik yapının amacı yine aranacak model sayısını azaltarak işlem miktarını düşürmek ve bu sayede dağarcığı genişletebilmektir. Bu çalışmada sensörlü eldiven kullanarak geliştirdikleri sistemle yaklaşık 5000 işaret arasından bir işaretin tanıma zamanını yarım saniyenin altına indirdiler ve ortalama % 83 tanıma başarısı elde ettiler. Kamera tabanlı sistemlerde kullanılan işaret sayısı ise daha azdır ve 100 – 200 arasında değişmektedir [9].

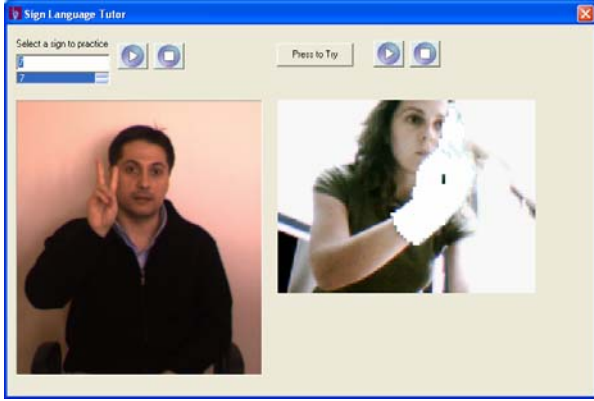
3. Etkileşimli İşaret Dili Eğitimi

İşaret dili öğrenimindeki en önemli noktalardan biri, öğrencinin işareti doğru yapıp yapmadığının geçerlenmesidir. İşaret dili bilen bir öğretmenin bulunmadığı durumlarda bu değerlendirme işaret dili analizi ve tanıma teknikleri kullanılarak otomatik olarak yapılabilir. Bu tür bir sistem işitme engellilerin işaret dili öğrenimine destek sağlayacağı gibi işitme engelli olmayanlar ve işaret dili öğrenmek isteyenler tarafından da kullanılabilir. Etkileşimli bir işaret dili eğitim sisteminin varlığı işaret dilini yaygınlaştırarak işitme engelliler ve engelli olmayanlar arasındaki iletişimi arttıracaktır.

Etkileşimli İşaret dili eğitmeni, işaret dili tanıma sistemini kullanır. İşaret dili tanıma sistemi, öğrencinin etkileşimli işaret dili öğrenimi sırasında, yapılan işaretin doğruluğunun analiz edilmesi aşamasında kullanılır. Yapılan işaret analiz edilerek tanıma sistemine gönderilir ve işaretin doğruluğu/yanlılığı hakkında öğrenciye bilgi verilir. Öğrencinin hareketi nasıl yaptığını görmesi için doğruluk onayı / red bildirimini yanı sıra, yaptığı hareketin karikatürize bir tekrarı gösterilebilir. Öğrencinin bu tekrarı izlemesi, işareti daha doğru yapmayı öğrenmesine yardımcı olacaktır.

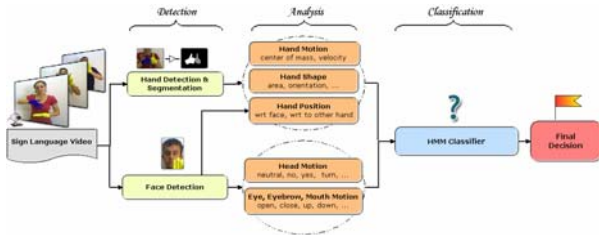
Bu amaçla geliştirdiğimiz ilk İşaret Dili Eğitmeni örnek programı [11] Türk İşaret Dili'nden yedi işareti içerir. Bu örnek program eldiven giymiş bir kullanıcının elini bulur, izler ve tanıır. Programın arayüzü (Şekil 1) iki aşamadan oluşur: Öğrenme aşaması ve uygulama aşaması. Öğrenme aşamasında kullanıcı önce bir işaret seçer. Seçilen işaret için daha önceden kaydedilmiş bir video kullanıcısına gösterilir. Kullanıcı bu videoyu, uygulama aşamasına geçmeye hazır olana kadar tekrar tekrar izleyebilir. Uygulama aşamasında, kullanıcıdan, seçmiş olduğu işareti yapması istenir. Kullanıcının yaptığı işaret analiz edilir. Yapılan analize göre kullanıcıya yaptığı işaretin doğru olup olmadığı bildirilir. Kullanıcı ayrıca yaptığı hareketin videosunu izleyebilir.

Eğitmenler sisteme yeni işaretler tanımlayarak veri tabanını genişletebilirler.



Şekil 1: İşaret Dili Eğitmeni V1 Arayüzü

Sistem eldiven giymiş kullanıcının elini çift eşik yöntemiyle bulur, elin orta noktasını Kalman süzgeci ile izler ve yumuşatır, elin yönelimini hesaplar ve HMM kullanarak tanıma yapar. Bu sistemin başarımı, birden fazla kullanıcıdan alınmış örneklerle oluşturulan veritabanında %95 olarak ölçülmüştür. Bu örnek sistem çeşitli kısıtlar içerir: kullanıcıların tek renkli bir eldiven giymesi ve ışık koşullarının yeterli olması gerekir. Ayrıca, kullanıcıların esas olarak el hareketlerinin tanınması üzerine yoğunlaşmıştır. El şekilleri çok basit olarak değerlendirilmiş, yüz ifadesi, baş ve vücut hareketleri ise hiç kullanılmamıştır.



Şekil 2: İşaret Dili Eğitmeni V2 Akış Diyagramı

İşaret Dili Eğitmeninin geliştirdiğimiz ikinci sürümünde [26], işaret dilini oluşturan tüm öğeler analiz edilmiş ve birlikte değerlendirilmişlerdir. El hareketi, el şekli, el pozisyonu, yüz ifadesi ve baş hareketi için öznitelikler çıkarılmış ve HMM ile tanıma gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Bu sistemde el şekli için görünüm tabanlı öznitelikler kullanılmış, el hareketi için Kalman süzgecinin yer ve hız çıktıları kullanılmış, el pozisyonu ise yüze göre hesaplanmıştır. Yüz ifadesi ve baş hareketi için yüz ve yüz bölümlerinin hareket enerjisi seviyeleri ve x ve y boyutlarındaki hız vektörleri öznitelik olarak kullanılmıştır. Tanıma, ele ait ve yüze ait özniteliklerin beraber kullanıldığı sürekli HMM yapısı ile gerçekleştirilmiştir. Amerikan İşaret Dilinden seçilen 19 işaretten oluşan veri tabanında, sistemin kişiden bağımsız tanıma başarısı %76'dır. Bu 19 işaret, 8 ana işaretin çeşitli baş hareketi ve yüz ifadesi değişiklikleriyle oluşturulmuştur. 8 ana işaret üzerindeki başarımlar ise %99'dur. Test kümesi üzerindeki hata matrisi Şekil 3'te görülebilir.

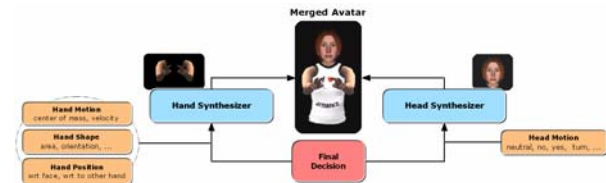
Tanıma başarısını geliştirmek amacıyla, değişik karar ve öznitelik tümeleştirme algoritmalarını karşılaştırdık ve olasılıklar yerine inan tabanlı (belief based) bir birleştirme

yöntemi önerdik [27]. Bu yöntemde iki aşamalı HMM yapısı kullandık. İlk aşamada kullanılan HMM ele ait ve ele ait olmayan bilgileri kullanarak tüm işaretler arasından bir karar verir. İkinci aşamada ise aynı gruba ait işaretler arasında sadece ele ait olmayan bilgiye bakarak karar verilir. İnanca dayalı yöntem hem ilk aşamada verilen kararın kesinliğini değerlendirerek ikinci aşamaya geçip geçmemeye karar verir hem de işaretleri gruplayarak ikinci aşamaya aktarılan işaretleri belirler. Bu teknik ile tanıma başarısı %82'ye kadar çıkarılmıştır.

Hand Head feature fusion	door	to open	drink (noun)	to drink	here	is here?	not here	look at	look at cont.	look at reg.	study	study cont.	study reg.	afraid	very afraid	clean	very clean	fast	very fast
door	11	1																	
to open	1	11																	
drink (noun)			12	0															
to drink			0	12															
here					4	4	4												
is here?					0	12	0												
not here					0	2	10												
look at								7	1	4									
look at cont.								0	12	0									
look at reg.								0	4	7									
study											3	0	9						
study cont.											0	8	4						
study reg.											0	2	10						
afraid														3	9				
very afraid														0	12				
clean																11	1		
very clean																2	10		
fast																		6	6
very fast																		0	12

Şekil 3: Test Kümesi Hata Matrisi.

Bu sistem ilk örnek programa ek olarak işaret sentezini de gerçekleştirir (Şekil 4). Kullanıcıya yaptığı hareketin sentezlenmiş görüntüsü gösterilir, bu sayede kullanıcının yaptığı işareti bir başka açıdan görmesine ve değerlendirmesine imkan verilir.



Şekil 4: İşaret Dili Eğitmeni V2 Sentez



Şekil 5: İşaret Dili Eğitmeni V2 Arayüzü

İşaret Dili Eğitmeninin arayüzü 4 bölümden oluşur (Şekil 5). Sağ üst köşede öğrenme bölümü bulunur. Öğrenci veritabanındaki işaretlerin önceden bir eğitmen tarafından kaydedilmiş görüntülerini izleyebilir. Öğrenci seçtiği bir işareti denemek için sol alt köşede bulunan uygulama

bölümündeki “Test” düğmesine basar. Bu aşamada öğrencinin yaptığı işaret kaydedilir ve değerlendirilir. Değerlendirme sonucu sol üst bölmedeki bilgi ekranında görüntülenir. Öğrenci ayrıca bu değerlendirmeye ek olarak kendi görüntüsünü, ellerin bölütlenmesi ve hareketini ve ayrıca sentezlenmiş görüntüsünü izleyebilir.

4. Sonuçlar

İşaret dili tanıma problemi son yıllarda dünyada önemli ve zorlayıcı araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Türkiye’de ise hem çeşitli sebeplerle Türk İşaret Dili’nin gelişimi yavaşlamış hem de Türk İşaret Dili üzerine kaynakların eksikliği sebebiyle Türk İşaret Dili analiz ve tanıma araştırmaları kısıtlı kalmıştır. Etkileşimli İşaret Dili Eğitmeni Türk İşaret Dilinin öğrenilmesini kolaylaştırarak yaygınlaşmasını amaçlamaktadır. Aynı zamanda işaret dilinin analizi ve tanıma çalışmaları için uygun bir platform oluşturacaktır. İşaret Dili Eğitmeni’nin yaygın olarak kullanılabilmesi için sistemin eldivensiz de çalışabilmesi şarttır. Bu amaçla çalışmalar sürdürülmektedir.

5. Kaynakça

- [1] MEB Yayınları, 1995, Yetişkinler için İşaret Dili Kılavuzu, T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Özel Eğitim Rehberlik ve Danışma Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara
- [2] Türk İşaret Dili İnternet Sayfası, <http://turkisaret dili.ku.edu.tr>
- [3] Zeshan, U., “Aspects of Türk İşaret Dili (Turkish Sign Language)”, *Sign Language and Linguistics*, vol. 6:1, 43-75, 2003.
- [4] Quek, F.K.H., “Toward a Vision-Based Hand Gesture Interface”, Singh, G., S. K. Feiner, and D. Thalmann (editors), *Virtual Reality Software and Technology: Proc. of the VRST’94 Conference*, pp. 17–31, World Scientific, London, 1994.
- [5] Yang, M.H., Kriegman, D. J. , Ahuja, N., “Detecting Faces in Images: A Survey”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 1, pp. 34 - 58, 2002.
- [6] Jayaram, S., Schmugge, S., Shin, M. C. and Tsap, L. V., “Effect of Color Space Transformation, the Illuminance Component, and Color Modeling on Skin Detection”, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR’04)*, 2004, pp. 813-818
- [7] Wu, Y. and Huang, T.S., “Hand modeling, analysis, and recognition for vision based human computer interaction”, *IEEE Signal Processing Magazine*, 2001, v.21, p.51–60.
- [8] Pavlovic, V., Sharma, R. and Huang, T. S. “Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction: A Review.”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 7, pp. 677–695, 1997.
- [9] Ong, S.C.W. and Ranganath, S., “Automatic Sign Language Analysis: A survey and the Future beyond Lexical Meaning”, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.27, no.6, pp.873-891, 2005.
- [10] Isard, M. and Blake, A., “Condensation - conditional density propagation for visual tracking”, *International Journal of Computer Vision*, 1998 , 26 , 5-28
- [11] Aran, O., Keskin, C., Akarun, L., “Sign Language Tutoring Tool”, *EUSIPCO’05*, Antalya, September 2005.
- [12] Yang, M.-H., Ahuja, N. and Tabb, M., “Extraction of 2D Motion Trajectories and Its Application to Hand Gesture Recognition,” *IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence*, vol. 24, no. 8, pp. 1061-1074, Aug. 2002.
- [13] Yeasin, M. and Chaudhuri, S., “Visual understanding of dynamic hand gestures.”, *Pattern Recognition*, Vol. 33, No. 11, pp. 1805–1817, 2000.
- [14] Pavlovic, V., “Dynamic Bayesian networks for information fusion with applications to human–computer interfaces,” Ph.D. dissertation, Univ. Illinois at Urbana-Champaign, 1999.
- [15] Bobick, A. and Davis, J. “Real-time recognition of activity using temporal templates”, *Proceedings of the Workshop on Applications of Computer Vision*, 1996.
- [16] Lovell, B.C. and Caelli, T., “Hidden Markov Models for Spatio-Temporal Pattern Recognition”, in Chen, C. H. and Wang, P. S. P., Eds. *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*, 3rd ed, chapter 1.2, pages 25-40. World Scientific Publications, 2005.
- [17] Heap, A. J. and D. C. Hogg, “Towards 3D Hand Tracking using a Deformable Model”, *Proceedings of 2nd International Face and Gesture Recognition Conference*, Vermont, New England., 1996.
- [18] Blake, A. and M. Isard (1998). *Active Contours*. Springer-Verlag
- [19] Munib, Q., Habeeba, M., Takruria, B., Al-Malika, H.A., “American sign language (ASL) recognition based on Hough transform and neural networks”, *Expert Systems with Applications*, vol. 32 , pp. 24-37, 2007
- [20] Ming, K.W. and Ranganath, S., “Representations for Facial Expressions,” *Proceedings of International Conference on Control Automation, Robotics and Vision*, vol. 2, pp. 716-721, Dec. 2002.
- [21] Erdem, U.M. and Sclaroff, S., “Automatic Detection of Relevant Head Gestures in American Sign Language Communication,” *Proceedings of Int. Conference on Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 460-463, 2002.
- [22] Starner, T. and Pentland, A., “Realtime American sign language recognition from video using hidden Markov models”, *Technical report*, MIT Media Laboratory, 1996.
- [23] Vogler, C. and Metaxas, D., “ASL recognition based on a coupling between HMMs and 3D motion analysis”. In *International Conference on Computer Vision (ICCV’98)*, Mumbai, India, 1998.
- [24] Vogler, C. and Metaxas, D., “A framework for recognizing the simultaneous aspects of American sign language”, *Computer Vision and Image Understanding*, Elsevier Science Inc., 81, 358-384, 2001
- [25] Fang, G. , Gao, W., and Zhao, D., “Large vocabulary sign language recognition based on fuzzy decision trees”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Part A, 34 , 305-314, 2004
- [26] Aran, O., Ari, İ., Benoit, A., Carrillo, A.H., Fanard, F.X., Campr, P., Akarun, L., Caplier, A., Rombaut, M. and Sankur, B., “SignTutor: An Interactive Sign Language Tutoring Tool”, *Proceedings of eINTERFACE’06*, Dubrovnik, Croatia, 2006
- [27] Aran, O., Burger, T., Caplier, A., Akarun, L., “Sequential Belief-Based Fusion of Manual and Non-Manual Signs”, submitted to *Gesture Workshop 2007*.