

# Hareket Yakalama Teknolojisiyle Türk İşaret Dili Animasyonu

## Turkish Sign Language Animation with Motion Capture

Arda Söylev  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
KTO Karatay Üniversitesi  
Konya, Türkiye  
arda.soylev@karatay.edu.tr

Engin Mendi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
KTO Karatay Üniversitesi  
Konya, Türkiye  
engin.mendi@karatay.edu.tr

**Özetçe**—Bu çalışmada hareket yakalama teknolojisi kullanılarak Türk İşaret Dili Animasyonu gerçekleştirilmektedir. Hareket yakalama çıktısı, veri güdümlü ve gerçek zamanlı olarak iki farklı şekilde kullanılarak imleyicisiz bir sistem olan Microsoft Kinect algılayıcısı ve profesyonel optik algılama yöntemleri karşılaştırılmaktadır. Veri güdümlü olan ilk yaklaşımda hareket yakalama verisi kaydedilir, işlenir ve çevrimdışı olarak karakter animasyonuna dönüştürülür. Veritabanında saklanan bu veri, özellikle mobil cihazlarda kullanılabilir. Gerçek zamanlı yaklaşımda ise bu işlemler gerçek zamanlı olarak hareket yakalama işlemiyle eşzamanlı yapılır. Bu sayede insanların, özellikle çocukların ilgisini çekmesi umularak animasyon karakteri, gerçek bir çevirmen yerine kullanılabilir. Televizyon kanalları, konferans ve sinemalar bu yöntemin kullanımı için birkaç örnektir. İki yöntem de veri güdümlü ve gerçek zamanlı olarak çalışabilir. Ancak görülmektedir ki Microsoft Kinect algılayıcısının kullanıldığı yöntem, parmakları algılamakta henüz yeterli değildir. Bunun yanında optik sistem doğru sonuçlar vermekte ve Türk İşaret Dili Animasyonu için veri güdümlü ve gerçek zamanlı olarak rahatlıkla kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler** — *İşaret Dili, hareket yakalama, animasyon, Microsoft Kinect*

**Abstract**—In this paper, using motion capture, we study on Turkish Sign Language Animation. A markerless system, Microsoft Kinect sensor and a professional optical system are compared. Besides, we use the motion capture data in two different approaches; data driven and real time. To animate the sign language, we merge the motion capture output with a cartoon character. In the first approach, which is data-driven, motion capture data is recorded, processed and converted to a character animation off-line. This data is stored in a database and it can be used in mobile devices or any other necessary ways. Real-time approach on the other hand converts the motion capture data into a character animation in real-time. This animation can be used in place of a real signer, which

would attract the attention of people easily. TV channels, conferences, cinemas are some examples of its usage. Both methods can use the optical system and the markerless system. However, we see that Microsoft Kinect sensor is not sufficient to track the fingers of the signer, so this is not an appropriate solution yet. On the other hand, optical systems give accurate results, which can be used for Turkish Sign Language animation in both data-driven and real-time approaches.

**Keywords** — *Turkish Sign Language, motion capture, animation, Microsoft Kinect*

### I. GİRİŞ

İşitme engelliler için hayati bir konu olan işaret dili, aslında her insanın hayatının bir parçasıdır. Türkiye’de doğan bebeklerin yaklaşık %0.2 - %0.3’ü işitme engeliyle hayata başlamakta, aynı oranda çocuk da bu hastalığa okula çağına gelene kadar yakalamaktadır. Bu da her sene yaklaşık 1500 – 2000 insanın yüksek düzeyde işitme engeliyle karşılaştığını göstermektedir [1]. Bu insanların sosyal hayatın içine dahil edilmesi; okula gitmesi, arkadaşlıklar kurması, televizyon seyretmesi, herkesin yaptığı aktiviteleri yapabilmesi çok önemli bir konudur. Bu sebepten dolayı işaret dilinin tüm insanlar arasında yayılması çok önemlidir ve üzerine ciddi çalışmalar yapılmalıdır. Böylelikle toplumdaki tüm kesimler arasında iletişim mümkün kılınacak ve işitmek insanlar için bir engel olmaktan çıkıp belki sadece bir zorluk olacaktır.

Maalesef ülkemizde, işitme engeli olmayan insanların işaret dilini öğrenmeye genel olarak eğilimi yoktur, bu da dilin yayılmasını engellemektedir. Türk Dil Kurumu [2] tarafından basılmış bir Türk İşaret Dili Sözlüğü olmasına rağmen insanların bunu işitme engellilerle iletişim kurmak için yanlarında taşıması mümkün değildir, ayrıca bu sözlük yazı ve resimlerden ibaret olup öğrenmeyi zor ve sıkıcı hale getirmektedir.

Bu çalışmada, Şekil 1’de örnek olarak gösterildiği gibi, bir animasyon karakteri kullanarak Türk İşaret Dili Animasyonu üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmanın üç temel sebebi vardır. İlk olarak şunu söyleyebiliriz ki çocuklar için dil öğrenmek

yetişkinlere göre çok daha kolaydır. Yetişkinler daha zor öğrenir, ezberler ve çok daha kolay unutmaya eğilimindedir. Bu da demek oluyor ki, işaret dilinin küçük yaşlarda öğretilmesi, dilin yayılması açısından daha etkili ve doğru bir yöntemdir. Öncelikli amacımız işaret dilini, bir animasyon karakteri kullanarak çocuklara öğretmektir. Umulur ki çocukların ilgisi bu vesileyle çok daha kolay çekilip, işaret dili, aralarında bir oyun, eğlence olarak yayılır.



Şekil 1. Türk İşaret Dili ve Karakter Animasyonu.

Çalışmanın ikinci sebebi ise, sadece çok küçük bir yüzdesi bu dili bilen toplumun yetişkin kesimlerinin de işitme engellilerle iletişime dahil olmasını sağlamaktır. İnsanların çok çeşitli uğraşları ve meşgaleleri vardır ve birçok insan yeni bir dil öğrenmek için vaktini ayıramaz. Bu tip insanların da işitme engellilerle iletişim kurması için cep telefonu, tablet bilgisayar gibi cihazlarda Türk İşaret Dili Animasyonu'nun olması çok faydalı olacaktır. Böylelikle bu dili bilmeyen kişilerle de rahatlıkla iletişim kurulabilecektir.

Son olarak görsel medyada işaret dili animasyonunun kullanımından bahsedilebilir. İşitme engelli insanların televizyon seyredirken gördüklerini rahatça anlaması maalesef pek mümkün değildir. Programların sadece çok küçük bir kısmında işitme engelliler için çeviri yapılmaktadır. Bu çevirilerde gerçek bir insan görüntüsü yerine, animasyon karakterinin kullanılması sadece çocukların değil, birçok kişinin ilgisini çekecek, böylelikle bu çeviriyi yapan program sayısı ve ilgi artacaktır.

Bu amaçlar doğrultusunda, çalışmamızda iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlardan ilkinde bir çevirmen yardımıyla hareket yakalama teknolojisi kullanılmakta, bunun çıktısı, karakter animasyonuna çevrilerek bir sözlük oluşturulmaktadır. Bu verinin de bir veritabanına kaydedilmesinin ardından herhangi bir kullanıcı istediği kelime ya da cümlenin karşılığı olan işareti kolaylıkla bulabilecek, bilgisayar, cep telefonun gibi cihazlar vasıtasıyla ekranda görebilecektir. Bu yaklaşım, çalışmanın yukarıda bahsedilen sebeplerinden ilk ikisini karşılamaktadır. İkinci yaklaşım ise çalışmanın üçüncü amacını karşılamak içindir. Bu yaklaşıma göre yukarıda bahsedilen adımlar gerçek zamanlı olarak yapılır. Bu sayede televizyon seyredirken insanlar ekranlarının köşesinde izledikleri programın gerçek zamanlı olarak işaret dili çevirisini bir animasyon karakteri şeklinde görebilecektir. Bu da şüphesiz, bir çevirmenin gerçek zamanlı olarak arka tarafta çeviri yapmasını gerektirmektedir.

Çalışmada, optik ve imleyicisiz hareket yakalama teknolojileri kullanılmaktadır. Optik algılamaya için yüksek maliyetli, profesyonel bir hareket yakalama laboratuvarı gerekirken imleyicisiz hareket yakalama yaklaşımı için oldukça kolay ve düşük maliyetli olan Microsoft Kinect'ten yararlanılmaktadır.

## II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Literatürde işaret diliyle ilgili birçok çalışma mevcut ancak bunların çok az bir kısmı Türk İşaret Dili üzerine yapılmış durumdadır.

Çalışmalar genel olarak iki gruba ayrılabilir. Bunlardan ilki sentetik olanlardır. Bu gruptaki çalışmalar görsel araçlar kullanarak karakteri oluşturmaktadır. H-Anim [3] standardını kullanan H-Animator [4] bu tip çalışmalardan bir tanesidir. Bunun dışında da birçok çalışma bu gruba örnek olarak verilebilir. İkinci grup ise hareket yakalama teknolojisi üzerine çalışılan ve gerçek bir çevirmen kullanan çalışmalardan oluşmaktadır. [5], Fransız İşaret Dili için yapılan bu çalışmalardan bir tanesiyken, [6] da Çin İşaret Dili'ne örnek bir çalışmadır. Burada bahsedilen çalışmaların birçoğu cep telefonu üzerinden çalışan bir uygulama temellidir.

Türk İşaret Dili için [7], gerçek çevirmenlerin videolarından oluşan çok önemli bir kaynak, ancak herhangi bir animasyon kullanılmamaktadır. Aynı şekilde, Boğaziçi Üniversitesi'nin bir projesi olan [8] de Türk İşaret Dili'ni öğrenmek için önemli bilgilere sahiptir. Küçük bir kısmı özetlenen çalışmalara son olarak gizli Markov Modeli'ni kullanarak videolardan Türk İşaret Dilini tanıyan [9] verilebilir.

## III. HAREKET YAKALAMA

Günümüzde karakter animasyonu oluşturmak için kullanılan üç temel yöntem vardır. Bunlar; anahtar çerçeve, fiziksel simülasyon ve hareket yakalamadır. Anahtar çerçeve yöntemine göre animasyonu gerçekleştiren kişi, belli çerçeveler için önemli görüntüleri belirlemekte, bu görüntülerin araları da aradeğerleme tekniğiyle doldurulmaktadır [10]. Fiziksel Simülasyon ise hareketi, yüksek karmaşıklıkla oluşturan bir yöntemdir. Bu sebepten dolayı da yöntemin animasyonlarda kullanımını kısıtlıdır. Son olarak hareket yakalama yöntemi ise bir canlı hareketlerinin bilgisayar tarafından algılanması üzerine kuruludur. Kişinin hareketleri genellikle laboratuvar ortamında kaydediliyor ve bu veri özetle, bir karakterle eşleştirilmektedir.

Bu çalışmada, askeri uygulamalardan çizgi film ve bilgisayar oyunlarına kadar çok çeşitli amaçlar için kullanılan hareket yakalama üzerine çalışılmıştır. Bilgisayar karakter animasyonları için hareket yakalama, canlı hareketlerinin, bilgisayar karakterinin hareketiyle eşleştirilmesi işlemidir. Eşleşme doğrudan ya da dolaylı olabilir. Dolaylı eşleşme, canlı kolunun, karakterin koluyla bire bir eşleştirilmesi şeklinde olurken dolaylı eşleşmede canlı el, karakterin vücut rengini ya da duygusal durumunu belirleyebilir [11]. Hareket yakalama sistemleri kullandıkları teknolojiye göre sınıflandırılabilirler. Geleneksel sistemler, optik (aktif veya pasif), manyetik ve elektromanyetik olarak ayrılabilir. Teknolojinin gelişmesiyle daha yeni sistemler de ortaya çıkmaktadır. Bunlara da inertial ve imleyicisiz sistemler örnek olarak verilebilir.

Maalesef hareket yakalama sistemlerinin önemli bir dezavantajı hareket verisinin toplandıktan sonra değiştirilmesinin çok zor olmasıdır. Bu durum bizim çalışmamızı da kısıtlamakta, her kelime için tek tek kayıt yapmamızı gerektirmektedir.

Bu çalışmada hareketi kaydetmek için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki optik, ikincisi ise imleyicisiz

hareket yakalama teknolojileridir. Bunlar aşağıdaki bölümlerde daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

#### A. Optik Sistem

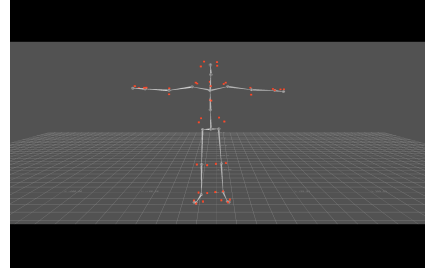
Şekil 2’de görüldüğü gibi optik sistemlerde, aktörün üzerine takılan özel optik imleyiciler sayesinde veri kaydedilir. Aktörün hareket ettiği alan 6 – 500 kamera tarafından çevrilidir ve kameraları hepsi görüntüyü algılar. Her kameranın gönderdiği kızılötesi ışın imleyicilerden yansırarak geri döner. Böylelikle imleyicilerin pozisyonları 2 boyutlu olarak kaydedilir ve tüm kameralardan alınan verilerin birleştirilmesiyle işaretçilerin 3 boyutlu konumları herhangi bir zaman için bulunabilir [10]. Özet olarak optik hareket yakalama sistemleri 5 adımda çalışır; stüdyonun kurulumu, hareket algılama alanının kalibrasyonu, hareket algılama, verinin temizlenmesi ve veri üzerinde yapılan ardıl işlem<sup>1</sup> adımı. Tüm bu adımlar sonunda FBX dosyası yaratılır.



Şekil 2. Optik Hareket Yakalama Laboratuvarı. Aktör T-Pozunda duruyor

Bu çalışmada Hacettepe Üniversitesi’nin hareket yakalama laboratuvarı’nı kullandık. Burada 8 farklı kameradan oluşan bir alan oluşturulmuş ve Vicon Blade [12] yazılımı sayesinde kameralardan alınan görüntü işlenmiştir. Vicon Blade, kinematik modele uydurulma işlemi ve sonrasında animasyon düzenleme adımlarını gerçekleştirebilmektedir. Böylelikle animasyonun her aşamasında düzeltmeler de yapılabilmekte, FBX dosyası Maya veya Motion Builder gibi uygulamalara rahatlıkla aktarılabilir [13].

Optik sistemlerin diğer taraftan bir takım olumsuzlukları da vardır. Öncelikle veri üzerinde ardıl işlem yapılması gerekmektedir. Bunun sebebi ise aktörün üzerindeki herhangi bir imleyicinin kameralar tarafından bazı anlarda görülemeyebilmesidir. Her imleyicinin en az bir kamera tarafından görülmesi gerekir. Kamera sayısının artmasıyla da imleyicilerin görülememe oranı düşmektedir. Bu da çok kameralı sistemlerin oluşturulmasının bir sebebidir. Kısaca bahsedilen problem, algılama işlemi sonrasında elle düzeltilebilir. Yapılan bu çalışmada da çok karmaşık kayıt senaryoları olmamasına rağmen bu tip durumlarla karşılaşmış, bunlar çekim sonrasında elle temizlenmiştir. Şekil 3’de, Şekil 2’deki aktörün görüntüsünün algılayıcı kameralar tarafından algılandıktan sonraki iskelet görüntüsü verilmektedir. Görüntüdeki kırmızı noktalar, aktörün üzerindeki imleyicilerdir. Her algılama, şekillerde görüldüğü gibi aktörün T pozunda durmasıyla başlar. Bu pozda tüm imleyiciler, kameralar tarafından rahatça görülebilmektedir.



Şekil 3. Şekil 2’de gözüken aktörün iskeleti. Kırmızı noktalar imleyicileri göstermektedir

#### B. İmleyicisiz Sistem

İmleyicisiz yaklaşım, gelişmekte olan ve bilgisayarlı görü alanındaki gelişmelerle paralel giden bir yöntemdir ve bu alanda çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu sistemlerde hareketin algılanması için aktörün özel kıyafetler giymesine gerek yoktur. Özel bilgisayar algoritmaları sayesinde optik girdiler analiz edilir ve canlının şeklini teşkil eden parçalar böylelikle tespit edilir.

Bu çalışmada, imleyicisiz sistem yaklaşımını Microsoft Kinect kullanarak gerçekleştirdik. Kinect, profesyonel bir imleyicisiz sistem değildir. Maliyeti düşük, kolay bulunabilen ve özel bir mekana gereksinim duymayarak, evde bile denenebilecek bir sistemdir. Kızılötesi kullanarak 2 boyutlu görüntülerin bileşenlerinin yerini tespit eder. Özel bir yazılım sayesinde de çok doğru sonuçlar alınabilir. Bazı yaklaşımlarda birden çok Kinect algılayıcı kullanılarak doğruluk artırılmaktadır.

Bu çalışmada Brekel [14] yazılımı, Microsoft Kinect’le beraber kullanılmıştır. Başarılı sonuçlar alınmasına rağmen aktörün el parmakları istendiği gibi algılanamamaktadır. Bir işaret dili uygulaması için bu çok büyük problemdir. Sonuç olarak kolaylığı ve ucuzluğuna rağmen Türk İşaret Dili animasyonu için bu yöntem görüldüğü kadarıyla uygun değildir.

### IV. TÜRK İŞARET DİLİ ANİMASYONU

Bu çalışma birden çok adımdan oluşmaktadır. Bu adımlardan ilki hareket algılamadır. Hareket algılama işleminin çıktısı olan veri, Motion Builder yazılımında kullanılır. Böylelikle çıktı, bir karakter animasyonuna dönüştürülebilir. Animasyon karakteri çok farklı şekillerde yaratılıp kullanılabilir. Bunun için Maya yazılımı da sıkça kullanılmaktadır. Bahsedilen adımlar gerçek zamanlı ve veri güdümlü olarak yapılabilir. Bu yaklaşımlar takip eden alt başlıklarda incelenmektedir.

#### A. Veri Güdümlü Yaklaşım

Veri güdümlü yaklaşıma göre hareket yakalamasının çıktısı olan veri Şekil 4’de gösterildiği gibi cep telefonunda kullanılmaktadır. Bu cihazda kelimelerin karşılığı olan hareketlerden oluşan bir sözlük veritabanında saklanmaktadır. Bu sayede seçilen herhangi bir kelimenin karşılığı olan işaret dili animasyonu ekranda oynatılabilmektedir. Bunun en önemli özelliği herhangi bir cep telefonu kullanıcısı tarafından rahatlıkla kullanılabilip iletişimi kolaylaştırmasıdır.

<sup>1</sup> ing: post-processing



Şekil IV. Türk İşaret Dili Animasyonu'nun Mobil Cihazda Kullanımı

Bu yaklaşım için XCode 5.0 [15] ve Apple'ın iOS 7.0 işletim sistemi iPhone ve iPad cihazlar için kullanılmıştır. Ayrıca bu sistem, kolaylıkla Android ve benzeri cihazlara da entegre edilebilir.

### B. Gerçek Zamanlı Yaklaşım

Gerçek zamanlı yaklaşımın imleyicisiz hareket yakalama sistemi kullanıldığında uygulanması daha kolay ve verimli olabilmektedir. Kinect cihazının kullanımı ve çıktısını karakter animasyonuna çevirmek özel bir ortama ihtiyaç duymadan çok düşük maliyetle, kolayca yapılabilir. Ancak bunun kullanışlı olması için parmakların algılanma probleminin çözülmesi gerekir. Bu halen üzerinde çalışılan bir alandır.

Diğer taraftan optik algılama da gerçek zamanlı olarak kullanılabilir ancak bunun dezavantajı sistemin sabit, profesyonel bir laboratuvara ihtiyaç duymasındır. Bu sistemde de kaydedilen veri gerçek zamanlı olarak alıcıya ulaştırılır. Ancak verinin boyutunun çok büyük olduğu da unutulmamalıdır. Veri, karakter animasyonuna dönüştürülüp ağ üzerinden gerçek zamanlı olarak gönderildikten sonra televizyon, konferans, tiyatro, sinema gibi yerlerde bir ekrana yansıtılarak kullanılabilir.

## V. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada özellikle çocukların öğrenmesi ve uygulayabilmesi için Türk İşaret Dili'ni hareket yakalama teknolojisiyle karakter animasyonuna dönüştürme üzerine çalışılmıştır. Bu uygulama sayesinde işaret dili çocuklar arasında yayılırsa, ülkemizdeki kullanım oranı da yükselecek, bu konudaki engeller kısmen de olsa ortadan kalkacaktır.

Çalışmada farklı yaklaşımlar denedik. İlk olarak optik ve imleyicisiz hareket yakalama sistemlerini karşılaştırdık. Görüldüğü kadarıyla imleyicisiz sistem, uygulanması açısından çok daha kolay ve maliyetsiz olmasına rağmen aktörün parmaklarının algılanamaması çok büyük ve temel bir problemdir. Türk İşaret Dili'nde parmakların öneminin göz ardı edilemez olması sebebiyle bu sistemin doğru bir şekilde kullanımı şu anki teknolojiyle mümkün değildir. Diğer taraftan optik sistem ise doğru sonuçlar vermektedir.

İkinci olarak hareket yakalama çıktısı için gerçek zamanlı ve veri güdümlü yaklaşımları karşılaştırdık. Veri güdümlü yaklaşımda veritabanında tuttuğumuz veriyi, mobil cihazlarda kullandık. Gerçek zamanlı yaklaşımda ise konuşmanın işaret diline çevrilmesi gereken herhangi bir ortam için, çıktının gerçek zamanlı olarak dönüştürülebildiğini gösterdik.

Gelecek çalışmalar için öncelikle veritabanındaki kelime sayısı artırılmalı ve kelimelerden cümle kurulması, blending kullanımı üzerine çalışma yapılmalıdır. Bunun yanında en önemlisi, bir ses tanıma sistemi oluşturularak, herhangi bir

mobil cihazdan sesin tanınip, karakter animasyonuna çevrilmesi üzerine çalışılmalıdır. Metin tanıma sistemine de çalışılması faydalı olacaktır. Son olarak imleyicisiz hareket yakalama üzerine çalışmalar yapılip parmakların doğru olarak algılanabilmesi çok faydalı bir çalışma olacaktır.

Sonuç olarak Türk İşaret Dili Animasyonu üzerine literatürde bir ilk olan bu çalışmanın, araştırmacılar için temel teşkil ederek tetikleyici olması ve bu konuda detaylı çalışmalar yapılması amaçlanmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında emeği olan Dr. Tolga Çapın'a ve hareket yakalama esnasında cömertçe yardımlarını esirgemeyen Hacettepe Üniversitesi'nden Hacer İlhan'a çok teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

- [1] Kemalöglü, Y. K.. "Ülkemizde İşitme Engellilerin (İYE ve FiTYE) Nüfusu Ne Kadardır?," Çankırı Karatekin Üniversitesi, 2010.
- [2] Türk Dil Kurumu, [Online], 2013. [http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_content&id=264](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_content&id=264)
- [3] Humanoid Animation Working Group. "ISO/IEC 19774 Humanoid Animation (H-Anim)", 2004.
- [4] Buttussi F., Chittaro L., Nadalutti D., "H-Animator: A Visual Tool for Modeling, Reuse and Sharing of X3D Humanoid Animations", Proceedings of Web3D 2006: 11th International Conference on 3D Web Technology, pp. 109-117, April 2006.
- [5] Gibet, S., Courty, N., Duarte, K., Le Naour, T., "The SignCom system for data-driven animation of interactive virtual signers: Methodology and evaluation." *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)* 1.1 (2011): 6.
- [6] Wang, J., Yanfeng S., Lichun W.. "Chinese Sign Language Animation System on Mobile Devices." *Information Technology and Computer Science (ITCS), 2010 Second International Conference on.* IEEE, 2010.
- [7] Türk İşaret Dili, Koç Üniversitesi [Online], 204. <http://turkisaret dili.ku.edu.tr>
- [8] Türk İşaret Dili Sözlüğü, Boğaziçi Üniversitesi (TID), [Online], 2009. <http://www.cmpe.boun.edu.tr/pilab/tidsozlugu/>
- [9] Haberdar, H., Albayrak, S. "Real time isolated Turkish sign language recognition from video using hidden markov models with global features." *Computer and Information Sciences-ISCIS 2005.* Springer Berlin Heidelberg, 677-687, 2005.
- [10] Pullen, K., Christoph B. "Motion capture assisted animation: Texturing and synthesis." *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 21, no. 3, 2002.
- [11] Sturman, D. J. "A brief history of motion capture for computer character animation." *SIGGRAPH 94, Character Motion Systems, Course notes* 1, 1994.
- [12] Vicon Blade, [Online], 2013. <http://www.vicon.com/Software/Blade>
- [13] Motion Capture - Vicon MX System, [Online], 2013. <http://mocap.csit.carleton.ca/index.php?Section=ViconBlade&Item=Introduction&Page=Default>
- [14] Brekel Kinect. [Online], 2008. <http://www.brekel.com>
- [15] XCode 5.0, Apple, [Online], 2013. <https://developer.apple.com/xcode/>