

# Üçüncü Boyut: Baş Takibi ve Fare ile Çoklubiçimli Etkileşim Arayüzü

*Üç Boyutlu Etkileşimi Değerlendirmek Üzere Bir test Ortamı*

**Özet:** Bu makalede iki boyutlu (2D) mouse girdisi ile üç boyutlu (3D) baş takibini birleştirerek, 3D masaüstü sanal ortamlarda (DVE) üç boyutlu etkileşimi geliştirmeyi hedefleyen çoklu biçimli bir kullanıcı arayüzünden bahsedilmektedir. Önerilen üç boyutlu arayüzün yeteneklerini ve kullanılabilirliğini ölçen bir test ortamı sunulmakta, geleneksel doğrudan idare teknikleri kafa dönme hareketleri ile gerçekleştirilerek üç boyutlu masaüstü sanal ortamdaki nesnelere etkileşime geçilmektedir. Test ortamı sadece ortalama bir masaüstü bilgisayar, kamera ve mousedan oluşmaktadır. Test ortamı oluşturulurken kullanıcılarla gerçekleştirilen çalışmalar ümit verici olup ileyen adımlardaki empirik analizler sonucunda önerilen entegrasyonla ilgili bilimsel neticelere varılacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** insan bilgisayar etkileşimi, kullanılabilirlik, masaüstü sanal ortamlar

## 3<sup>rd</sup> Dimension: A Multimodal Interface with 2D Mouse and 3D Head Tracking

*A testbed to evaluate 3D Interaction*

**Abstract:** This paper describes a 3D multimodal user interface integrating 2D mouse input and 3D head tracking for 3D desktop virtual environments (DVE). A novel test-bed is proposed to evaluate the functionality and usability of this 3D interface by combining traditional direct manipulation techniques performed by the rotation of head to interact with the objects in 3D DVE that is composed of a relatively up-to-date desktop computer, a webcam and a mouse. The unofficial prerresults indicate that this multimodal interface can be suitable for 3D designers; however, the further empirical studies will reveal how suitable head tracking is as a 3D interface integrated with 2D interaction device to be used in a 3D DVE.

**Keywords:** interaction, usability, desktop virtual environment

### 1. Giriş

Bu çalışmadaki amaç, üç boyutlu masaüstü sanal ortamlar için verimli bir üç boyutlu etkileşim arayüzü olarak baş takibinin kabiliyetini incelemektir. Üç boyutlu etkileşim alanında üç boyutlu sarmal ortamlar için çok çeşitli kullanılabilirlik araştırmaları yapılmış olsa da sarmal olmayan üç boyutlu ortamlar için sözkonusu etkileşimi destekleyecek pek inceleme bulunmamaktadır.

Son yıllarda bilgisayarlı görme alanındaki ilerlemelerle yüz tanıma sistemleri, yüz/mimik ve baş takibi gibi konulardaki araştırmalar ivme kazanmıştır. Gövde/hareket/işaret/bakış takibi ve yüz tanıma alanındaki gelişmeler çoklubiçimli insan bilgisayar etkileşimini geliştirmede önemli bir yere sahiptir [1]. Video oyun teknolojisindeki gelişmeler yardımıyla üç boyutlu uzayda etkileşim, hareket ve işaret etkileşimi gibi yenilikçi insan bilgisayar etkileşim yöntemleri halka oldukça hızlı ulaştı. Dahası uzaysal etkileşim etkileşim aracı karmaşığından kaynaklanan kullanılabilirlik problemlerinin çözümüne katkıda bulunmak üzere araştırmalardaki yerini almaya başladı, tıpkı LaViola'nın çalışmasındaki gibi [2]. İnsan bilgisayar etkileşiminin bilgisayar oyunları bakımından değerlendirilmesi rahatlıkla önu açık bir çalışma alanı olarak değerlendirilebilir.

Video/bilgisayar oyunu oynayanların, tıpkı dikkat gerektiren sıradan bir görevi gerçekleştirirken bireyin vucut

hareketleriyle ya da yüz mimikleriyle göreve eşlik etmesi gibi, oyun içindeki yuvarlanma, sağa sola dönme ve dalma aksiyonlarını da kafalarıyla takibetmeleri sık raslanan bir durumdur. Dahası sıçrama hareketi esnasında ekrana yaklaşmak, araba kullanırken aracın sağa sola dönüşlerinde kafayı sağa sola devirmek, hava aracı kullanırken dönüşlere kafayla eşlik etmek ve bunlara benzer birçok hareket neredeyse tüm oyuncular arasında yaygın olarak rastlanan durumlardır. Başlıbaşına bu eğilim vücut hareketlerine dayanan etkileşimin doğal ve sezgisel etkileşim eğilimi olarak değerlendirebileceğini önermekte, bunun yanında baş takibine dayanan etkileşimin de üç boyutlu etkileşim için kuvvetli bir arayüz adayı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmayla, baş takibi üç boyutlu bir etkileşim arayüzü olarak önerilmekte, bu arayüzü iki boyutlu fare ile birleştirip üç boyutlu döndürme ve yer değiştirme hareketlerinin gerçekleştirilmesindeki başarıyı, rahatlığı ve sezgisel kolaylığı tespit etmek üzere tasarlanmış bir test ortamı önerilmektedir. Başlangıç olarak Chen' in [3] 2D fare girdisi ile sanal devir kontrolünü sanal küre metodu yardımıyla birleştirdiği çalışmanın bir benzeri oluşturulup, baş takibinin 3D döndürme hareketi için umulan derecede uygun olup olmadığı sınanmıştır. Benzeri bir testi tekrarlamak ve baş takibi ile fare kombinasyonunun sanal kürenin başarısıyla sınanması bu etkileşimin çoklu biçimli etkileşime uygunluğu bakımından gerçekçi olduğunu değerlendirdiğimiz bir sonuç üretmiştir. İlerleyen aşamalarda tasarım programı kullanıcılarına yönelik yeni bir arayüz önerisi umudu yaratmıştır. Bu projenin

ilerleyen aşamalarında yer değiştirme testleri de tanımlanan görev geliştirme metoduyla test ortamına dahil edilecektir.

Makalenin ikinci bölümünde önceki çalışmalardan, üçüncü bölümünde ise test ortamının tasarlanmasından bahsedilmiştir. Dördüncü bölüm ölçüm ve analize ayrılmış, bulgular bu bölümde değerlendirilmiştir.

## 2. Literatür Araştırması

### 2.1. Önceki Çalışmalarda Baş Takibi

Bilgisayarlı görme alanında, kafa takibi ve kafa pozisyonu kestirimi üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda kafa duruşundaki değişikliğin ölçülmesi için sensor takibinden faydalanılırken [4, 5], bazılarında stereo kamera ile üç boyutlu kafa takibi [7, 6, 5] yapılmış ya da tek kamera yardımıyla kafa pozisyonu kestirilmeye çalışılmıştır [8, 9].

Takip sistemleri pasif etkileşim arayüzü olarak da değerlendirilmiş ve çok sayıda araştırmada temel etkileşim cihazının yerine almak üzere kullanılmıştır. Betke ve ark.'nın "Camera Mouse" çalışması [10, 11], Yon Fu ve Thomas S. Huang'ın eller serbest kullanıcı arayüzü diye tarif ettikleri "hMouse" [8] ve fare olarak burun (*Nose as a Mouse*) bağlamında isimlendirilen "Nouse" [6] en belirgin örneklerdendir. Ne yazık ki kafa takibini farenin yerini almaktan ziyade masaüstü kullanıcıları için ikinci bir etkileşim cihazı/arayüzü olarak değerlendiren pek çalışmaya rastlanmamıştır.

Kimi araştırmacılar kafa hareketini el hareketlerine bağlantılı olarak değerlendirip hareket etkileşimli arayüzler için yardımcı bilgi toplamak niyetiyle incelemiştir. Bu incelemelerden bir tanesinde kafa hareketinin ya da başın bakış doğrultusunun işaret etmek hedefli el hareketlerinin tanınmasında hassasiyeti arttırdığı doğrulanmıştır [5]. Benzer şekilde kafa takibi bilgisayar oyunlarında oyuncuların görme alanlarını arttırmak ve oyun dünyasıyla etkileşimlerini güçlendirmek amaçlarıyla da incelenmiştir. Oyundaki görme alanının kontrolünün kullanıcının kafa hareketiyle eşleştirildiği kimi çalışmalarda güçlendirilmiş baş hareketleriyle kullanıcının sanal ortamdaki görüş açısı genişletilmiştir [4]. LaViola ve ark.'nın izomorf olmayan dönüşel hareketlerin geliştirilmesinde kafa takibinin etkilerini inceleyen çalışmaları [12] ve kafa takibi yardımıyla klavye karmaşıklığının azaltılmaya çalışılması (köşelerden bakma görevinin klavyedeki bir düğmeden alınarak baş hareketinin kontrolüne aktarılması) [2] oyun geliştirme alanındaki örneklerden sadece bazıları. Ayrıca akademik ortamlar dışında da kafa hareketini bilgisayar oyunlarında değerlendirmek üzere geliştirilen açık kaynak projeleri mevcuttur [13, 14].

Her ne kadar kafa takibini içeren çalışmalar mevcutsa da kafa başlıbaşına 6 eksenli (6 degree of freedom) bir etkileşim cihazı olarak hiçbir araştırmada değerlendirilmemiştir. Altı eksendeki (dönme ve taşıma) hareket kabiliyeti değerlendirildiğinde ve potansiyel takip hassasiyeti dikkate alındığında kafa takibi çok maliyetli olmayan doğal bir arayüz adayıdır. Yüksek hassasiyet gerektirmeyen hareketler bakımından altı hareketi (yuvarlanma, yunuslama, yalpalama ve her eksendeki yer değiştirme) takibetmek ve

değerlendirmek başın çoklukla kullanıcı hareketlerine ve görevlerine eşlik ettiği değerlendirildiğinde baş takibini pasif bir arayüz, baş hareketlerini de etkileşim girdisi olarak değerlendirmek oldukça sezgiseldir. Video oyunu oynayan kullanıcılar gözlemlendiğinde, görevlerin gerçekleştirilmesinde baş hareketinin neredeyse her görevde davranışa öncülük ettiği ve görevi gerçekleştirmek için yapılan harekete katıldığı hemen farkedilmektedir. Bu eğilim kafa yönelimli hareketin kullanıcının hareket alışkanlıklarını kullanarak girdiyi üç boyutlu sanal ortama kolayca kanalize edebilecek doğal bir etkileşim arayüzü olabileceğini önermektedir.

### 2.2. Masaüstü Bilgisayarlarda Üç Boyutlu Etkileşim

Üç boyutlu etkileşim evrensel görevler olarak addedilen basit davranışsal yapıtaşlardan oluşmaktadır [15]. Evrensel görevler; yer değiştirme, seçme, yönlendirme ve sistem kontrolü olarak listelenir. Bu evrensel görevler sarmal ya da yarı-sarmal sanal ortamlarla etkileşimin temellerini oluşturdukları gibi birçok etkileşim tekniği bu evrensel görevlerden birini ya da birkaçını gerçekleştirmek üzere işbirliği içinde kullanılır.

Nesnelerin yönlendirilmesi gerçek dünyadaki etkileşimin temelini oluşturur. Benzer şekilde yönlendirme işlemi sanal ortamlarda da önemli yer tutar. Sanal ortamdaki nesnelere kullanıcı arasındaki temas ortamdaki inandırıcılığın gerçekleşmesi ve gerçek dünyanın doğru şekilde taklit edilmesi için önemlidir. Karmaşıklığı azaltmak bakımından yönlendirme hareketini kanonik görevlere ayırmak kolay olacaktır: (1) yer değiştirme (*position*), bir nesneyi bir noktadan bir başka noktaya taşımak; (2) seçme (*selection*), bir nesnenin diğerlerinden ayırt edilerek seçilmesi/belirlenmesi; son olarak (3) döndürme (*rotation*), bir nesnenin duruşunun ya da oryantasyonunun değiştirilmesi [16].

Etkileşimin kalitesinin etkileşim tekniklerinin başarısına dayandığı önermesiyle hareket edilecek olursa etkileşimli ortamlar için doğruluk, etkinlik ve geribildirim anahtar gereksinimler olarak değerlendirilebilir. Üç boyutlu etkileşim Froehlich, Kitamura ve Bowman'ın [17] tariflerine göre değerlendirildiğinde, etkileşimin üç boyutlu olmasındaki yegane kısıt görevlerin uzamsal olarak üç boyutta da nesneyle etkileşime dayanmasıdır. Dolayısıyla her ne kadar fare başlıbaşına iki boyutlu bir etkileşim aracı olsa da, üç boyutlu bir ortamla kendi boyutları dahilinde etkileşim kurabilir ve hatta evrensel görevlerden üzerine düşeni yerine getirmek koşuluyla üç boyutlu etkileşimin bir parçası olabilir.

Bu çalışmada fare üç boyutlu uzayda seçme ve yer değiştirme görevlerini yerine getirmek üzere kullanılmaktadır. Fare imleci, Schafer ve Bowman'ın çalışmasındaki ışın tekniğine (ray-casting technique) benzer şekilde seçme işlemini gerçekleştirecektir [18]. Yer değiştirme işlemi içinse doğrudan elle yönlendirme (direct-hand manipulation) tekniği uygulanacaktır. Fare için yegane handikap iki boyutlu bir cihazın üç boyutta değerlendirilmeye çalışılmasıdır. Mousun masaüstündeki fiziksel hareketi değerlendirildiğinde (x ve z düzlemlerinde) üçüncü boyutun eksikliği daha iyi anlaşılabilir. Bu nedenle hareket kabiliyetinin hangi düzleme eşleştirileceği ve hangi boyuttaki etkileşimin takviye gerektireceği

kararlaştırılmalıdır. Aksi takdirde, iki farklı boyutu üstüste bindirerek cihazın bir hareketinin iki uzama birden nakletmeye çalışmak kullanım zorluğu yaratacaktır. Bu durum ev bilgisayarlarında fare ile oynanan hava aracı simülasyonu oyunlarında sık rastlanan bir kullanılabilirlik problemidir.

Doğal etkileşim tekniklerinin insan bilgisayar etkileşimi bakımından başarısına yönelik araştırmalar henüz sonuçlandırılmamış ve çokça tartışmaya açık olsa da McMahan vd.'nin empirik çalışması etkileşimdeki başarıyla mevcudiyet duygusunun daima birbiriyle bağlantılı olmadığını göstermiştir [19]. Ayrıca oluşturdukları test ortamında gerçekleştirilen karşılaştırmalı testler doğal etkileşime dayalı tekniklerle umulduğu kadar yüksek başarı performansı sağlanamadığını ortaya çıkarmıştır. Fakat eğlence faktörü doğal etkileşim için daha yüksek olarak not düşülmüştür. Benzer şekilde bu test ortamı kafa takibinin üç boyutlu etkileşim için yeterince kullanışlı ve sezgisel olarak kullanımı kolay bir arayüz olup olmadığını ortaya çıkaracaktır. Baş hareketi farenin uzam kaybını tamamladığında ortaya çıkan çoklubiçimli arayüz kullanışlılık ve etkinlik bakımından bu test ortamında değerlendirilecektir. Dolayısıyla bu çalışmada çoklubiçimli arayüz ve çoklubiçimli etkileşimden bahsedildiğinde fare ve kafa takibi entegrasyonundan oluşan etkileşim biçimi kastedilmektedir. Üç boyutta döndürme ve navigasyon görevlerinin serbest uzayda pasif girdi yöntemleriyle (uzamsal etkileşim – spatial interaction) etkinliğinin ve kullanılabilirliğinin ölçüldüğü çok sayıda çalışma olmasına rağmen kafa takibini masaüstü ortamlar için pasif input aracı olarak kullanan çok sayıda çalışmaya rastlanmamıştır.

### 2.3. Üç Boyutlu Etkileşimin Performansı

Sanal ortamlarda haptik kullanımı, HMD, joystick, klavye ve fare gibi etkileşim araçlarının üç boyutlu etkileşim metodlarına uygunluğuna, görev performansına ve kullanılabilirliğe yönelik çok çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin bazıları etkileşim metodlarını ve bu metodları yaratan metaforları da değerlendirmeye yöneliktir. Bazılarında girdi aracının yetenekleri, etkileşim sınıfı ve kullanım kolaylığı sanal gerçeklik ve sanal ortamlar nezdinde etkileşimin değerlendirilmesine tesir eden etkenler olarak nitelendirilmiştir [22, 23, 21]. Bowman, üç boyutlu iki etkileşim tekniğini karşılaştırmak için kullandığı test ortamında basit görevlerin gerçekleştirilmesi yoluyla başarı oranını temel ölçüm ögesi olarak kullanmıştır [24]. Bu test ortamında değerlendirme her ne kadar doğrudan görevlerin başarı oranlarının kıyasına dayanıyor olsa da kalabalık nesnelere arasından tek bir nesne seçme görevlerinde, çevresel etkenlerin başarı performansını etkileme potansiyeli not düşülmüştür. Bu çevresel etkenler (dış etkenler) kullanıcı ile seçimi hedeflenen nesne arasındaki mesafe, hedeflenen nesne ile diğer nesnelere birbirine yakınlığı ve seçimi hedeflenen nesnenin ebatları olarak listelenmiştir. Poupyrev'in gerçekleştirdiği bir başka araştırmada, iki etkileşim tekniği, GoGo ve ışın tekniği (ray-casting) seçme ve yönlendirme görevleri bakımından karşılaştırılmıştır [25]. Bu karşılaştırma sonucu ulaşılan sonuç çevresel faktörlere dayandırılmış, seçme görevleri için hedeflenen nesne uzaklığı, yönlendirme görevleri içinse nesne ebatları dikkate alınarak yapılan

değerlendirmenin kullanıcı testleriyle tutarlı sonuçlar ürettiği belirtilmiştir. Bu iki deney, çevresel faktörlerin etkileşim arayüzünün ve etkileşim tekniğinin başarısını anlamak ve yönlendirmek için dikkate alınması gereken önemli etkenler olduğunu ifade etmektedir.

Öte yandan McMahan vd. etkileşim tekniklerinin değerlendirilmesinde daha temiz sonuçlara ulaşabilmek için üç boyutlu sarmal sistemlerin sarmal olmayanlardan ayrılarak değerlendirilmesi gerektiğini, dahil olma (sarmalanma) hissini etkilerinin etkileşim tekniğinin başarısını tespit etmede doğrudan kıyaslamayı yetersiz kıldığını öne sürmüşlerdir [23]. Çalışmalarında CAVE ortamında kullanılmak üzere klavye ve fare tabanlı yeni bir teknik (Desktop Oriented Interaction Technique called DO-IT) geliştirmişlerdir. Bu teknikler sarmal ortamdaki etkileşimi basitleştirip, ortama dahil olmayı engelleyen bir şekilde sokarak sarmal yapının etkilerini nötrlemişlerdir. Sonuç olarak etkileşim tekniğinin nesne yönlendirme görevinin gerçekleştirilme süresinde belirgin bir etkisinin olduğunu raporlamış, fakat etkileşimi gerçekleştirmede kullanılan girdi cihazlarının performansa etkisine yönelik herhangi bir gözlem raporlamamışlardır.

### 3. Test Ortami ve Deneyle

Test ortamı kapsamında belirli bir görev grubu etkileşimin etkinliği bakımından değerlendirilecektir. Görevler daha önce bahsedilen çevresel faktörlerin negatif etkilerini minimize etmek ve fare ile baş takibi entegrasyonunun çoklubiçimli (multimodal) bir arayüz olarak performansını değerlendirebilmek ve görev karmaşasına meydan vermemek için basit tutulmalıdır. Bu bölümün alt başlıklarında test ortamına, deneylere ve görevlerin oluşturulmasına yönelik açıklamalar yapılmaktadır. Görevler gerçekleştirilmeden önce ve gerçekleştirildikten sonra kullanıcılara doldurtulan anketler etkileşimin bıraktığı izlenimler bakımından kullanılabilirliğin değerlendirilmesi için kullanılacaktır. Anketlere ve anketlerin oluşturulmasına altbaşlık altında yer verilmiştir.

#### 3.1. Görevlerin oluşturulması ve görev karmaşıklığı

Görevler oluşturulurken hedeflerin açıkça tanımlanmış olması kadar zorluk derecesi de dikkate alınmalıdır. Yüklenen görev açıkça tanımlanmalı, isteneni anlamak karmaşık olmamalıdır. Bu nedenle her görev için belirgin bir talimat zinciri hazırlanmalı ve görev süresince ekranda gösterilmelidir.

Görevlerin doğasından kaynaklanan zorluk derecesinin, etkileşimin kullanılabilirliğine yönelik değerlendirmeyi olumsuz etkilememesi için görevler karmaşıklıklarına göre sınıflandırılmalıdır. Böylece arayüzün kabiliyetleri daha iyi gözlemlenebilir. Görevlerin zorluk ya da karmaşıklık seviyeleri ortamdaki nesne sayısına (bu nesnelere hepsi ile etkileşime geçilemeyebilir), etkileşime geçilebilecek nesne sayısına, o görevi gerçekleştirmek için gereken hamle sayısına, görevin gerektirdiği kesinlik oranına vb. göre belirlenebilir ve çeşitlik zorluk derecesinde görevler oluşturulur. Park etme analogisi düşünüldüğünde belirtilen yaklaşım daha iyi değerlendirilebilir. Önceden park etmiş iki araç arasına parketmek, otoparkın hiç araç bulunmayan bir

bölümüne park etmekten daha zor olabilir. Üstelik sürücünün anksiyetesi de park etme hususunda zorluk yaratan bir başka etkidir. Böylesi etkenleri tespit etmek için anket sistemi yardımcı olacaktır.

Her görev setinin ilki kullanıcının ortama ısınmasına yardımcı olacak ve olası anksiyeteyi tetiklemeyecek şekilde planlanmalıdır. Böylece basitçe temel etkileşimin sağlanıp sağlanmadığı gözlemlenebilir. Bu en basit görevde ortamda sadece bir nesne bulunacak ve çevresel etkiler mümkün olduğunca sıfırlanacaktır.

Çevresel öğeler görev gerçekleştirme performansını etkilediği gibi görevlerin zorluğuna dair olan algıyı da etkileyebilir. Bu durum küçük nesnelere etkileşime geçmekle büyük nesnelere etkileşime geçmeye çalışmak ya da hedef nesnenin dar bir alanda olması olarak örneklenebilir. Bu ve benzeri çevresel faktörler Bowman [29] ve Poupyrev'in [25] deneylerinde performansa tesir eden faktörler olarak incelenmiştir. Bowman bu faktörleri sarmal sanal ortamlarda performansı etkileyen dış faktörler olarak tanımlamıştır [24]. Bu makalede bahsedilen test ortamında benzeri etkiler sarmal olmayan ortamlar için de aynı ağırlıktaymışçasına değerlendirilmiş, sarmal olmayan sanal ortamlardaki dış faktörler ve bunların performansa etkisi sonraki çalışmalarda dikkate alınmak üzere açık bırakılmıştır.

### 3.2. Etkileşim Yöntemleri

Yönlendirme işleminin kanonik görevlerini yerine getirirken ortaya çıkabilecek olası zorlukları elimine etmek için seçme ve yönlendirme işlemi basit kombinasyonlara bölünmelidir. Seçme işlemi fare düğmesiyle gerçekleştirilir. Seçilen her nesne fare hareketi ile tanımlanmış düzlemlerde (x-y ya da x-z) hareket ettirilebilir. Tanımlanmış düzlemlerle kasıt iki boyutlu (2D) farenin izdüşümünün iki boyutlu düzleme denk gelmesidir. Dolayısıyla üçüncü boyuttaki hareket farenin hareket düzlemi itibarıyla bu cihaz tarafından gerçekleştirilemez. Bu çalışma üçüncü boyuttaki hareketi kafa hareketi ile gerçekleştirmeyi önermektedir. Böylece uc boyutta hareket ettirme işlemi fare ve kafa takibi entegrasyonu ile sağlanmaktadır. Farenin sezgisel olarak x-z düzlemine denk düşüğü düşünülürse, kafa düşey düzlemdeki hareketi gerçekleştirmekle görevlendirilmiştir. Kafanın düşey olarak yukarı aşağı kaydırılması nesnenin düşey hareketi için veri temin etmektedir.

Döndürme işlemi ise kafa pozisyonuna, eğikliğine, yani kafanın donme hareketine dayanarak gerçekleşir. Bu durumda öncelikle nesnenin seçilmesi sonra da farenin sağ butonuna basılarak döndürme işlemi için aktif hale getirilmesi gerekir. Sağ-sol buton kombinasyonu cihaz karmaşıklığını arttırıyor gibi görünse de kafa takibinden gelen very girdisinin sınıflandırılması ve kullanım zorluğunun elimine edilmesi için elzemdir. Sağ fare butonu döndürme işlemini aktif ettikten sonra kafa takibinden elde edilen veri izomorf olmayan eşleştirme ile nesnenin döndürülmesi için kullanılır. İzomorf olmayan eşleştirme sanal ortamdaki nesnelere etkileşimin abartılı bir ölçüklemeyle gerçekleştirilmesini sağlar. Bu sayede fiziki dünya ile sanal dünya ölçüleri arasındaki doğrudan korelasyonun yaratabileceği zorlukları ortadan kaldırır. İzomorf olmayan eşleştirmenin en bilindik örneği fareyi

hareket ettirdiğimiz alan ile bilgisayar ekranıdır. Etkileşimde bu tip eşleştirme ilk defa tecrübe eden kullanıcılar için tartışılır bir biçimde karmaşıklık yaratıyor olsa da farenin küçük bir hareketi ekranda büyük bir harekete denk düştüğünden kullanım kolaylığını da beraberinde getirir.

Bu nedenlerden ötürü bu çalışmada tanımlanan etkileşim elle etkileşim tekniklerine yakınlık gösterir.

#### 3.2.1. Seçme İşlemi

Seçme işlemi ray-casting tekniğine benzer şekilde, üç boyutun iki boyuta projeksiyonu ile HOMER'daki gibi gerçekleşir [15]. Sanal el nesneye ilişitirildikten sonra, kullanıcı nesneyi sanal ortamda hareket ettirebilir.

Fare imleci nesneyi işaret ettikten sonra sol fare düğmesi ile seçim gerçekleştirilir. Seçilen nesnenin seçildiğine dair görsel geri bildirim, seçimin başarılı olup olmadığının kullanıcı tarafından anlaşılması bakımından önemlidir. Başarılı bir seçme işleminden sonra nesne sanal ele ilişitirilir ve sanal ortamda bir yerden bir yere taşınabilir. Sol fare butonuna tekrar basıldığında sanal el nesneyi bırakır, ve görsel geri bildirim nesnenin seçilmemiş olduğunu belirtir.

#### 3.2.2. Bir nesnenin bir yerden bir yere taşınması işlemi (Translation/Navigation)

Herhangi bir nesne fare yardımıyla iki boyutlu düzlemde, kafa takibinin entegrasyonu ile uc boyutlu düzlemde hareket ettirilebilir. Daha önce de bahsedildiği üzere yer değiştirme işlemi farenin x-z düzlemindeki hareketinin doğrusal olmayan bir şekilde sanal ortamın x-z düzlemine aktarılmasıyla gerçekleştirilir. Farenin düşey hareketi HOMER'daki uzayan kola denk düşer ve sanal el ekran düzleminde derinlik boyutuna doğru uzaklaşır. Kafa takibi ise düşey eksenindeki yer değiştirme verisinin kaynağıdır.

#### 3.2.3. Nesnenin oryantasyonunu değiştirme işlemi

Bir insanın görüş alanını arttırmak ya da değiştirmek için başını sağa sola çevirmesi oldukça doğaldır. Fakat masaüstü ortamlarda ya da video oyunu oynarken ekranın görülmesini önleyecek kadar kafanın çevrilmesi açıktır ki görüş alanını daraltır. Bu nedenle baş takibinde kafa hareketinin doğrusal olarak nesnenin oryantasyonuna karşılık düşmesi kullanım zorluğu yaratacak, büyük hareketler için çok büyük dönüşler gerektirecektir. Abartma işlemi bu aşamada kafanın dönme hareketlerini nesneye aktarmak için kolaylık sağlar. Abartarak aktarma fikri çok sayıda 3D etkileşim tekniği araştırmasında yararlı olarak değerlendirilmiştir [27, 28]. Özellikle Teather ve Stuerzlinger mütevazı bir oranda abartmanın katılımcılar bakımından tercih edildiğini not etmişlerdir [4]. Aynı çalışmanın sonuçlarında hiç abartılmamış eşleştirme ile az miktarda abartılarak eşleme yapılan etkileşimin hız ve kesinlik bakımından dikkate değer bir fark yaratmadığı da belirtilmiştir. Kafa takibi uygulama arayüzünün el verdiği ölçüde kamera tarafından saptanan baş etrafına hareketsiz kabul edilecek bir "home" alını yerleştirilecek ve bu alan içindeki herhangi bir hareket takipçi sistem tarafından değerlendirmeye alınmayacaktır.

Yuvarlanma, yunuslama ve yalpalama (roll-pitch-yaw) hareketleri birebir kafanın yuvarlanma, yunuslama ve yalpalama hareketi ile eşleştirilir. Sağ fare butonu basılı tutulurken kafanın bu düzlemlerdeki donme hareketi özdeş bir

şekilde nesneye aktarılır. Bunun etkinleştirilebilmesi için önce nesnenin seçilmiş olması gerekmektedir. Etkileşimin düzgünlüğü, pürüssüzlüğü ve kolaylığı takip kabiliyetine, takip hassasiyetine ve olası gecikmeye bağlıdır.

### 3.3. Test Ortamı

Fiziksel test ortamı standart masaüstü bir bilgisayar, standart bir fare ve monitöre monte edilmiş tak-çalıştır standart bir kameradan oluşmaktadır. Bilgisayar donanımı ortalama grafik işleme kabiliyetine sahip olmalıdır.

En az 2GB ramli, OpenGL 3.0 versiyonu grafik uygulama arayüzünü destekleyen bir grafik kartına sahip standart bir kişisel bilgisayar bu test için yeterlidir.

Sanal test ortamı OpenGL kütüphanesi kullanılarak, C++ ile geliştirilmiş kafa takibi için ticari olmayan lisansla FaceApi kullanılmıştır [13, 14]. Ev kullanıcılarının yatkınlığı tek kamera kullanılmaktan yana olduğu için monoküler (tek kamera ile) takip uygun görülmüştür.

Kafa takibine dayanan etkileşimde performansın sistemin kafa takibi ve veri işleme kabiliyetinden başka bir deyişle takip sisteminin performansından etkileneyeceği yadsınamaz. Gerekli takip performansını sağlayan bir uygulama arayüzü geliştirmek bu konuya yoğunlaşan ayrı bir çalışma gerektireceği ve bu çalışmanın temel hedefleri arasında olmadığı için üçüncü şahıslara ait bir uygulama arayüzü kullanımına gidilmiştir. Bu kapsamda yukarıda bahsi geçen FaceApi ve Watson kütüphanesi [26] dışında fazla seçeneğe rastlanmamıştır. Watson stereo kamera kurulumu gerektirdiği için FaceApi tercih edilmiştir. Sonuç olarak elde edilecek verilerin kafa takibi için kullanılan uygulama arayüzüne bağlı olacağı dikkatlerden kaçmamalıdır. Bu performans ölçümü ilerleyen aşamalarda yeni geliştirilen uygulama arayüzleri için performans metriği olarak kullanılabilir ve test ortamında belirlenen temel görevler çerçevesinde çeşitli uygulama arayüzlerinin başarısını kıyaslayan bir araştırma gerçekleştirilebilir.

### 3.4. Deneyler

Başlangıç olarak iki deney seti tasarlanmıştır. Birinci grup farenin hem tek başınayken hem de kafa takibi ile entegre edilmişken seçme ve yer değiştirme görevlerine yönelik kabiliyetini ölçmeye yöneliktir. İkinci grup ise bu görevlerin yanında döndürme görevlerini de içerir. Görev sıralaması ve organizasyonu kolaydan zora doğru oluşturulmuş, kullanıcının sadece basit etkileşimlerle başlayıp, başarı halinde sıradaki görevlere devam etmesi planlanmıştır. En kolay görev sadece fare kullanarak seçme işlemi gerçekleştirmek, en karmaşık görev ise çoklubiçimli arayüz kanalıyla sırayla ya da eş zamanlı olarak döndürme ve yer değiştirme işlemleri olarak tasarlanmıştır.

#### 3.4.1. İlk Deney Setine Ait Görev Listesi

Daha önce de belirtildiği gibi ilk deney seti herhangi bir döndürme hareketi içermemektedir. Sadece fareyle ve fare kafa takibi entegrasyonunun oluşturduğu çoklubiçimli arayüz yardımıyla gerçekleştirilen yer değiştirme görevlerinden oluşur. Bu iki arayüz iki ayrı test grubunda değerlendirilir.

İlk görev grubu fare etkileşimine yönelik olup ikinci görev grubu ise çoklubiçimli arayüzün yer değiştirme performansını ölçmeyi hedefler. Özellikle ilk görevler tanışıklık yaratmak, kullanıcıyı test ortamına ısındırmak gibi amaçlar güderler. Artarak karmaşıklaşan görev tasarımı kullanıcı faktörlerini aza indirmeyi hedeflemektedir. Temel etkileşim esnasında yaşanan sıkıntılar karmaşıklığı artan etkileşimlerin başarısı ölçülürken kullanıcı faktörleri (bireylerin kendilerine has başarı oranları ve yatkınlıkları) olarak kendilerini gösterir ve her birey için bu etkiyi değerlendirmeyi kolaylaştırır. Böylece kullanıcı faktörleri bir nebze de olsa elimine edilmiş olur.

#### 2D fare ile yer değiştirme (navigasyon) testi:

Katılımcılar sanal ortamda bulunan bir nesneyi belirli bir yerden belirli bir yere taşıma göreviyle yükümlüdürler. Yer değiştirme hareketi için fare yatay ve derinlik boyutlarına (x-z) eşleştirilmiştir. Fare masa üzerinde masanın derinliğince ileri geri hareket ettirildiğinde seçili obje kullanıcıdan uzaklaşır ve kullanıcıya yaklaşır, farenin sağa sola hareketiyle objenin yatay ekseninde sağa sola hareket ettirilmesini sağlar.

Sadece fare kullanımını gözlemleyen görev grubu aşağıda örneklenmiştir. Daha önce de bahsedildiği üzere görevler basitten karmaşığa doğru sıralanmıştır. Bu nedenle başlangıçta ortamda tek bir obje bulunurken sonradan obje sayısı artmaktadır. Bu nedenle test grupları genel olarak nesne varlığından/yoğunluğundan doğabilecek etkileri de deneyde değerlendirmeye açıktır.

1. Objeye seçimi
2. Objeye seçimi ve iki boyutlu ortamda yer değiştirme (x-z düzlemi) (ortamda sadece bir obje bulunur); obje belirlenmiş bir konuma bırakılır (bu konum görevin bir parçası olarak işaretlenmiştir ve belirlenen hedef etrafında başka bir obje bulunmaz)
3. Objeye seçimi birden fazla obje arasından gerçekleştirilir, yer değiştirme yine x-z düzleminde; obje görev hedefi olarak belirtilen yere bırakılır (bu konum görevin bir parçası olarak işaretlenmiştir ve belirlenen hedef etrafında başka bir obje bulunmaz)
4. Objeye seçimi birden fazla obje arasından gerçekleştirilir, yer değiştirme yine x-z düzleminde; obje görev hedefi olarak belirtilen diğer objelerin arasındaki yere bırakılır (bu konum görevin bir parçası olarak işaretlenmiştir ve belirlenen hedef etrafında başka objeler bulunmaktadır)

#### Çoklubiçimli arayüz ile yer değiştirme (navigasyon) testi:

Çoklubiçimli arayüzü oluşturan üç boyutlu kafa takibi ve iki boyutlu fare entegrasyonunun bu aşamasında kafa takibi düşey ekseninde yer değiştirme görevini gerçekleştirmekle yükümlüdür. Kafanın yukarı aşağı hareketi (bunun kafayı one arkaya eğmekten farklı olduğuna dikkat edilmelidir) etkileşime geçilen nesneyi düşey ekseninde hareket ettirmeyi sağlamaktadır. Yine diğer test grubunda olduğu gibi fare x-z düzlemindeki hareketin yanı sıra seçme işleminden de sorumludur.

İlk bölümde listelenen görevler aynı sırayla çoklubiçimli etkileşim ile gerçekleştirilirler.

### 3.4.2. İkinci Deney Setine Ait Görev Listesi

İkinci deney setinin ayrılmasındaki temel sebep dönme görevleri nedeniyle etkileşimin doğasının biraz karmaşıklaşmış olmasıdır. İki boyutlu fare yine önceki görevlerde olduğu gibi seçme yer değiştirme işlemi için kullanılırken, kafa takibi ile elde edilen kafa pozisyonu bilgisi hem döndürme hareketlerine hem de üçüncü eksendeki (düşey eksen) yer değiştirme hareketine karşılık gelir. Her başarılı seçme işleminden sonra yer değiştirme ve döndürme hareketleri sırası önemli olmaksızın gerçekleştirilebilirler.

Navigasyonel görevlerle döndürme görevlerini birleştirirken yumuşak bir geçiş yapmak için bu deney setini de iki grupta incelemeye uygun bulduk. Navigasyona yönelik görevler daha önce tecrübe edildiği için öncelikle kafa takibi ile döndürme hareketlerine yoğunlaşp başarı elde edildikten sonra navigasyon ve döndürme entegrasyonuna yönelmek uygun görülmüştür.

#### Kafa oryantasyonu ile döndürme testi:

1. Fare ile obje seçimi (obje tek başına olmalıdır, seçimi engelleyici ya da zorlaştırıcı başka bir obje ortamda bulunmamalıdır); objenin oryantasyonunu belirlenmiş bir modele benzetmek üzere kafa hareketleriyle değiştirmek (Chen'in sanal küre metodu deneyi [4])

İkinci görev grubu, birinci deney setinin ikinci görev grubuna görev sıralaması ve görev karmaşıklığı bakımından benzerlik gösterir. Bu sayede görevlerin başarı oranlarının kıyaslanması daha kolay olacaktır.

#### Çoklubiçimli etkileşim ile manipülasyon (seçme, navigasyon ve döndürme):

Bu bölümdeki görevler önceki bölümlere benzer şekilde hazırlanmış ve önerilen zorluk derecesi gelişimine göre sıralanmıştır.

1. Objeye seçimi (ortamda seçilebilecek sadece bir obje bulunur); obje oryantasyonunun belirlenen oryantasyona uydurulması; objenin hedef konuma bırakılması (hedef konum etrafında başka objeler bulunmaz)
2. Objeye seçimi (birden fazla obje arasından gerçekleştirilir); objenin diğer objeler arasından geçirilerek belirlenen lokasyona getirilmesi; obje görev hedefi olarak belirtilen yere bırakılır (bu konum görevin bir parçası olarak işaretlenmiştir ve belirlenen hedef etrafında başka bir obje bulunmaz)
3. Objeye seçimi (birden fazla obje arasından gerçekleştirilir); objenin diğer objeler arasından geçirilerek belirlenen lokasyona getirilmesi; objenin hedef konuma, etrafındaki diğer objelerin arasına bırakılması (bu konum görevin bir parçası olarak işaretlenmiştir ve belirlenen hedef etrafında başka objeler bulunmaktadır)

4. Objeye seçimi (birden fazla obje arasından gerçekleştirilir); obje oryantasyonunun belirlenen oryantasyona uydurulması; objenin hedef konuma, etrafındaki diğer objelerin arasına bırakılması (bu konum görevin bir parçası olarak işaretlenmiştir ve belirlenen hedef etrafında başka objeler bulunmaktadır)

## 4. Ölçütler ve Değerlendirme

### 4.1. Performans Ölçütleri

Bu test ortamı Bowman tarafından üç boyutlu etkileşim metaforlarını değerlendirmek üzere önerilen test ortamı yaklaşımına benzerlik gösterip azaltılan görev basitliği önerisi bu yaklaşıma dayandırılmıştır [24]. Her ne kadar görev başarısı ve ergonomik kaygılar etkileşimin değerlendirilmesinde başarı hızından daha kıymetli olsa da başarıya kadarki deneme/girişimde bulunma sayısı, her seferinde başarısızlıktan önceki ilerleme miktarı, her görevin başarıya ulaşması için gereken toplam zaman ilk defa karşılaşılan böylesi bir olgunun öğrenme eğrisinin tespiti hususunda önemli ipuçları verecektir. Dolayısıyla zaman bir performans ölçüsü olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca tutarlılık ya da başarısızlık dağılımı görev başarısı bakımından ve görevlerin gerektirdiği farklı kesinlik seviyeleri nedeniyle değerlendirilmesi gereken değişkenlerdir. Bunların yanında katılımcıların düşünce ve yorumları da önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, her görev esnasındaki etkileşim döngüsü sezgiselliği, rahatlığı ve kullanım kolaylığı bakımından anketler yardımıyla değerlendirilecektir. Bu bilgilerin temel kaynağı katılımcılar olduğu için anketler oldukça önemlidir. Bunların yanında görev tanımlama süresi, hata yapma oranı ve hassasiyet de diğer metrikler olarak empirik değerlendirmedeki yerlerini alırlar.

### 4.2. Anketler

Doğrudan ölçülemeyen faktörlerin değerlendirilebilmesi için anket kullanımı uygun görülmüştür. Temel amaç katılımcılara sorulan sorular yoluyla kullanım kolaylığı, rahatlık ve öğrenme kolaylığı konusunda bilgi toplanır. Her ne kadar öğrenme kolaylığına yönelik veriler tekrarlı testler ile elde edilebilecek olsa da anket kanalıyla bu bilgiyi edinmek tartışmaya açık olmakla birlikte daha zahmetsiz olarak değerlendirilmiştir.

Deneyin her bölümünde her görev bitimiyle birlikte katılımcıya o göreve yönelik bir anket doldurtulur. Her görevle tekrar doldurulan anketler, karmaşıklığa dayalı görev gelişimi sayesinde görev karmaşıklık seviyesini ve bu seviyenin etkileşim üzerine olan etkisini değerlendirmeyi mümkün kılar.

Anketlerdeki her soru bes puan Lickert ölçüsünü (Kesinlikle katılmıyorum, katılmıyorum, nötr, katılıyorum, kesinlikle katılıyorum) baz alarak katılımcının nabzını tutmaya çalışır [30].

Anket her görevden sonra doldurulur ve aşağıda listelenen üç madde ile başlar:

- “Ortamla etkileşim sezgiseldi.”

- “Nesne(lerin) seçimi için fareyi kullanmak sezgiseldi.”
- “Hangi objeyi seçtiğimi anlamakta zorlandım.”

240-243. DOI=  
http://doi.acm.org/10.1145/1496984.1497034.

Bu sorulardan sonrakiler her görevin doğasına göre değişmektedir. Aşağıda bazı örnekler bulunmaktadır.

- “Obje(leri) hareket ettirirken zorlanmadım.”
- “Objeyi belirtilen konuma yerleştirmek incelik isteyen bir işti.”
- “Objeyi kendi etrafında döndürmek oldukça kolaydı.”
- “Objenin oryantasyonunu belirlenen biçime getirmek ve o biçimde bırakmak kolay değildi.”
- “Objenin oryantasyonunu değiştirirken dönüşleri takibetmek ve istediğim formu yakalamakta zorlandım.”
- “Oryantasyon değişikliklerini kafa hareketleriyle gerçekleştirmek baş dönmesine sebep oldu.”
- “Kafa hareketinin hem objenin yerini hem de oryantasyonunu değiştirmesi kafa karıştırıcıydı.”

## 5. Sonuç ve Öneriler

Test ortamı tasarlanırken tasarım programı kullanıcılarının önerilerine başvurulmuş, etkileşim arayüzü kullanıcılar tarafından ümit verici olarak değerlendirilmiştir. Kullanıcıların yorumlarından en dikkate değeri, dönme merkezinin kullanıcı tarafından tanımlanabiliyor olmasının gerekliliğine yöneliktir. Katılımcılardan özellikle tasarım programı kullanıcıları için bu kabiliyetin kıymetli olduğu yönünde yorumlar alınmıştır. Bu özellik eklenip testler kayıt altına alınarak yinlenecek ve empirik metodlar kullanılarak sonuçlar değerlendirilecektir. Ayrıca bir sonraki iterasyonda çoklubiçimli arayüzle günümüzde sanal küre metodunu kullanarak fare sanal küre kombinasyonunun yerini dolduran “space ball” cihazının karşılaştırılması da hedeflenmektedir. Böylece kafa takibi ile 2D fare entergrasyonundan oluşan çoklubiçimli arayüzün 3D masaüstü ortamlarda kullanımına yönelik kullanılabilirlik bakımından kayda değer sonuçlara ulaşılabileceği umulmaktadır.

## 6. Kaynaklar

- [1] Jaimes, A. and Sebe, N. 2007. Multimodal human-computer interaction: A survey. *Comput. Vis. Image Underst.* 108, 1-2 (October 2007), 116-134. DOI= <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2006.10.019>.
- [2] LaViola, J. J. 2008. Bringing VR and Spatial 3D Interaction to the Masses through Video Games. *IEEE Comput. Graph. Appl.* 28, 5 (September 2008), 10-15. DOI= <http://dx.doi.org/10.1109/MCG.2008.92>.
- [3] Chen, M., Mountford, S. J., and Sellen, A. 1988. A study in interactive 3-D rotation using 2-D control devices. In *Proceedings of the 15th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '88)*, Richard J. Beach (Ed.). ACM, New York, NY, USA, 121-129. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/54852.378497>.
- [4] Teather, R. J. and Stuerzlinger, W. 2008. Exaggerated head motions for game viewpoint control. In *Proceedings of the 2008 Conference on Future Play: Research, Play, Share (Future Play '08)*. ACM, New York, NY, USA, 240-243. DOI=  
<http://doi.acm.org/10.1145/1496984.1497034>.
- [5] Nickel, K. and Stiefelhagen, R. 2003. Pointing gesture recognition based on 3D-tracking of face, hands and head orientation. In *Proceedings of the 5th international conference on Multimodal interfaces (ICMI '03)*. ACM, New York, NY, USA, 140-146. DOI=  
<http://doi.acm.org/10.1145/958432.958460>.
- [6] Gorodnichy, D. O., Malik, S., Roth, G., Nouse ‘use your nose as a mouse’ perceptual vision technology for hands-free games and interfaces, 2002. DOI= 10.1.1.5.9108.
- [7] Morency, L.; Rahimi, A.; Checka, N.; Darrell, T., "Fast stereo-based head tracking for interactive environments," *Automatic Face and Gesture Recognition, 2002. Proceedings. Fifth IEEE International Conference on*, vol., no., pp.390,395, 21-21 May 2002 DOI= 10.1109/AFGR.2002.1004185.
- [8] Fu, Y., Huang, T. S. 2007. hMouse: Head Tracking Driven Virtual Computer Mouse. In *Proceedings of the Eighth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV '07)*. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 30-. DOI=  
<http://dx.doi.org/10.1109/WACV.2007.29>.
- [9] Martins P., Batista J., Monocular Head Pose Estimation, published in *International Conference Analysis and Recognition*, retrieved from Martins’ Faculty Web Page: <http://www2.isr.uc.pt/~pedromartins/>.
- [10] Betke, M., Gips, J., and Fleming, P. "The Camera Mouse: Visual Tracking of Body Features to Provide Computer Access For People with Severe Disabilities." *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 10:1, pp. 1-10, March 2002.
- [11] Betke’s Faculty Page: Video-Based Interfaces for People with Disabilities, 2010. Retrieved April 2013. <http://www.cs.bu.edu/faculty/betke/research/hci.html>.
- [12] LaViola, J.J.; Forsberg, A.; Huffman, J.; Bragdon, A., "Poster: Effects of Head Tracking and Stereo on Non-Isomorphic 3D Rotation," *3D User Interfaces, 2008. 3DUI 2008. IEEE Symposium on*, vol., no., pp.155,156, 8-9 March 2008 DOI= 10.1109/3DUI.2008.4476614.
- [13] Seeing Machines Company Website: Face Tracking Application Interface Product, 2013. Retrieved February 2013. <http://www.seeingmachines.com/product/faceapi/>.
- [14] The FaceTrackNoIR Website: Face Tracking with just your webcam, 2010. Retrieved February 2013. <http://facetracknoir.sourceforge.net/home/default.htm>.
- [15] Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola, J.J., and Poupyrev, I. 2001. An Introduction to 3-D User Interface Design. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 10, 1 (February 2001), 96-108. DOI=  
<http://dx.doi.org/10.1162/105474601750182342>.
- [16] Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola, J.J., and Poupyrev, I. *3D User Interfaces: Theory and Practice*, Addison-Wesley, USA, 2004, pg 141.

- [17] Froehlich, B.; Kitamura, Y.; Bowman, Doug, "Workshop: Beyond wand and glove based interaction," *Virtual Reality*, 2004. Proceedings. IEEE , vol., no., pp.268,268, 27-31 March 2004 DOI= 10.1109/VR.2004.1310105.
- [18] Schafer, W. A., Bowman, D. A. 2005. Integrating 2D and 3D views for spatial collaboration. In Proceedings of the 2005 international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work (GROUP '05). ACM, New York, NY, USA, 41-50. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1099203.1099210>.
- [19] McMahan, R. P.; Alon, A. J. D.; Lazem, S.; Beaton, R. J.; Machaj, D.; Schaefer, M.; Silva, M.G.; Leal, A.; Hagan, R.; Bowman, D.A., "Evaluating natural interaction techniques in video games," *3D User Interfaces (3DUI)*, 2010 IEEE Symposium on , vol., no., pp.11,14, 20-21 March 2010 DOI= 10.1109/3DUI.2010.5444727.
- [20] Hinckley, K., Tullio, J., Pausch, R., Proffitt, D., and Kassell, N. 1997. Usability analysis of 3D rotation techniques. In Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '97). ACM, New York, NY, USA, 1-10. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/263407.263408>.
- [21] Beaton, R. J., DeHoff, R. J., Weiman N., and Hildebrandt P. W. (1987). An evaluation of input devices for 3-D computer display workstations. *SPIE Vol. 761 True Imaging Techniques and Display Technologies*, 94-101.
- [22] Bowman, D. A., Chen, J., Wingrave, C. A., Lucas, J. F., Ray, A., Polys, N. F., Li, Q., Haciahmetoglu, Y., Kim, J., Kim, S., Boehringer, R., Ni, T. New Directions in 3D User Interfaces. *IJVR* 5(2): 3-14 (2006).
- [23] McMahan, R. P., Gorton, D., Gresock, J., McConnell, W., and Bowman, D. A. 2006. Separating the effects of level of immersion and 3D interaction techniques. In Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology (VRST '06). ACM, New York, NY, USA, 108-111. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1180495.1180518>.
- [24] Bowman, D. A., Johnson, D. B., and Hodges, L. F. 1999. Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques. In Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology (VRST '99). ACM, New York, NY, USA, 26-33. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/323663.323667>.
- [25] Poupyrev, I., Weghorst, S., Billinghamurst, M., and Ichikawa, T. 1997. A framework and testbed for studying manipulation techniques for immersive VR. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology (VRST '97)*. ACM, New York, NY, USA, 21-28. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/261135.261141>.
- [26] MIT CSAIL: Vision Interfaces, Morency, L. Information retrieved October 2012. <http://groups.csail.mit.edu/vision/vip/watson/>.
- [27] Bowman, D, and Hodges, L. 1997. An Evaluation of Techniques for Grabbing and Manipulating Remote Objects in Immersive Virtual Environments. In *SI3D '97*, 35-38.
- [28] Poupyrev, I., Weghorst, S., Billinghamurst, M., and Ichikawa, T. 1996. The go-go interaction technique: non-linear mapping for direct manipulation in VR. In Proceedings of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '96). ACM, New York, NY, USA, 79-80. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/237091.237102>.
- [29] Bowman, D. A., Hodges, L. F. Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments, *Journal of Visual Languages & Computing*, Volume 10, Issue 1, February 1999, Pages 37-53, ISSN 1045-926X, 10.1006/jvlc.1998.0111. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1045926X9801112>)
- [30] Rosson, M. B., and Carroll, J. M., *Usability Engineering: Scenario Based Development of Human Computer Interaction*, Morgan Kaufmann Publishers, San-Diego, 2002, p. 260.