

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM FAKÜLTESİ**

**HAREKET YAKALAMA VE SANAL  
GERÇEKLİK İLE ÇOK OYUNCULU BİR  
DÖVÜŞ SİMÜLASYONU**

**Bitirme Projesi Son Raporu**

**Umut Yazgan  
150130031**

**Bölüm: Bilgisayar Mühendisliği**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gökhan İnce**

**Ocak 2019**

**ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY  
FACULTY OF COMPUTER AND  
INFORMATICS**

**A MULTIPLAYER COMBAT SIMULATOR  
USING MOTION CAPTURE AND VIRTUAL  
REALITY**

**Graduation Project Final Report**

**Umut Yazgan  
150130031**

**Division: Computer Engineering**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Gökhan İnce**

**January 2019**

# Özgünlük Beyanı

Burada ilan ediyorum ki bu çalışmada,

1. Bütün dışarıdan alınmış referanslar açıkça ve detaylıca kaynakları belirtilerek alıntılanmış,
2. Geriye kalan bütün bölümler, özellikle bu çalışmanın temelini oluşturan teorik çalışmalar ve yapılan yazılımsal/donanımsal katkılar şahsımca yapılmıştır.

İstanbul, Ocak 2019

Umut Yazgan

## Teşekkürler

Öncelikli olarak, danışmanım Yrd. Doç. Dr. Gökhan İnce'ye dönem boyunca bana verdiği destek ve yönlendirmeler için teşekkür etmek istiyorum. Dönem boyunca bana desteğini esirgemeyen aileme ve Pelin Döloğlu'na teşekkür ederim. Uygulamayı geliştirme aşamasında benden yardımını hiç bir şekilde esirgemeyen Tolga Şen'e teşekkür ederim. Son olarak da, test süreci boyunca bana yardımcı olan dostlarıma, özellikle de İTÜ Aikido Dojosu'ndan dostlarım Recep Aksoy ve Faruk Ergünay'a teşekkürü borç bilirim.

# HAREKET YAKALAMA VE SANAL GERÇEKLİK İLE ÇOK OYUNCULU BİR DÖVÜŞ SİMÜLASYONU

## (ÖZET)

Savaş sanatları, Dünya üzerinde çok sayıda insan tarafından gerek kendini savunma amaçlı gerek spor olarak gerekse profesyonel bir biçimde çalışılmaktadır. Kimi savaş sanatlarının, özellikle de kılıç, bıçak gibi kesici aletlerle çalışılanların, tam hız ve temas ile güvenli biçimde çalışılması mümkün değildir. Bu noktada, kesici aletlerde daha yavaş ve temassız çalışmaya alternatif bir yol olarak, bir bilgisayar simülasyonundan faydalanılabilir.

Bu projede, dövüş simülasyonunun kapsamı biraz daha dar tutularak, iki kişilik bir kılıç dövüşü simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda, iki dövüşçü hareket yakalama kıyafetleri ve sanal gerçeklik gözlükleri kullanarak, ağ üzerinden, birbirlerinin yanında olma ihtiyacı olmaksızın karşı karşıya gelip çalışma imkanı bulabilirler. Bunun sağlayacağı bir diğer avantaj ise, çalışmak için aynı yerde olma zorunluluğunu ortadan kaldırmış olması ve savaş sanatı çalışan insanlara dojo çalışmalarının haricinde evlerinde de karşılıklı çalışma imkanı sunmasıdır.

Sistemin gerçekleşmesi için giyilebilir bir hareket yakalama cihazı, bir sanal gerçeklik gözlüğü ve akıllı telefonlarla çalışacak bir mobil uygulama yazılmıştır. Kullanıcı hareket yakalama cihazını giyer ve bir bilgisayarda çalışan yazılımına bağlar. Bilgisayardaki yazılım, hareket verisini BVH formatında ağ üzerinden yayımlar, böylece iki kullanıcı da kendi cihazlarından hem kendi bilgisayarından gelen BVH yayımına hem de diğer kullanıcınıninkine bağlanır ve hem kendi hareket verilerini hem de diğer kullanıcının hareket verisini simülasyon içerisindeki bir insan modeline (bir avatara) aktarırlar.

Söz konusu insan modellerinin ellerinde birer adet basit kılıç benzeri silah vardır. Bu silahların keskin kısımları, kullanıcı avatarlarından herhangi birine temas ettiği takdirde, o avatar kesilmiş ve ölmüş sayılır. BVH yayımı ile bağlantısı ve simülasyon görüntüsü kısa süreli kesilir, sonrasına simülasyona geri döner ve çalışma devam eder.

Kullanıcılar tüm bu simülasyonu mobil cihazlarının ekranını kullanarak bir sanal gerçeklik gözlüğü ile oynarlar.

# **A MULTIPLAYER COMBAT SIMULATOR USING MOTION CAPTURE AND VIRTUAL REALITY (SUMMARY)**

Martial arts are being practiced by many people around the world for various reasons including self-defence, sports and as a profession. Some martial arts, especially ones that utilize sharp weapons such as knives and swords, cannot be safely practiced with full speed and contact. At this point, a computer simulation can be used as an alternative for slow and no-contact practice.

In this project, scope of the combat simulation is kept small and a two person sword fighting simulation has been implemented. In simulation, two fighters can come together and practice online without the need to be near each other, with help of motion capture gear and virtual reality goggles. Another advantage provided by this is that it will remove the necessity to be at the same location to study and give martial artists an opportunity to practice outside of dojo, at their homes.

For implementation of the system, a mobile application that works with a wearable motion capture device and virtual reality goggles was developed. The user wears the motion capture device and connects it to software that runs on a PC. The software on the PC, broadcasts motion data to network in BVH format so that two users can subscribe to both their and other users PC's BVH broadcast, allowing them to send both users' motion data to a humanoid model (an avatar) in simulation.

These said humanoid models each have a simple sword-like weapon in their hands. If sharp parts of these weapons contacts any of the user avatars, that avatar is considered sliced and dead. It's connection with BVH broadcast and its vision is interrupted for a short period, then it returns to the simulation and keeps training.

Users play this whole simulation using the display of their mobile devices, using a virtual reality headset.

# İçindekiler

<b>1</b>	<b>Giriş ve Proje Özeti . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literatür Taraması . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Hedeflenen Tasarım ve Gerçeklenen Sistem . . . . .</b>	<b>4</b>
3.1	Kullanılan Teknolojiler ve Entegrasyonları . . . . .	4
3.1.1	Terminoloji . . . . .	4
3.1.2	Perception Neuron . . . . .	5
3.1.3	Cardboard . . . . .	6
3.1.4	Unity . . . . .	7
3.1.5	Sistem Mimarisi . . . . .	8
3.2	Sistem Gerçeklenmesi . . . . .	8
3.2.1	Lobi . . . . .	9
3.2.2	Simülasyon Çevresi . . . . .	10
3.2.3	Çarpışmalar ve Fizik Motoru . . . . .	11
3.2.4	Ağ Üzerinden Kullanıcıların Bağlanması . . . . .	13
3.2.5	Simülasyon Akışı ve Mekanikler . . . . .	14
3.2.6	Sanal Gerçeklik . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Test Ortamı ve Testler . . . . .</b>	<b>18</b>
4.1	Test Ortamı . . . . .	18
4.2	Testler . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Kıyaslamalı Değerlendirme ve Tartışma . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Sonuç ve Gelecek Çalışmalar . . . . .</b>	<b>21</b>

# 1 Giriş ve Proje Özeti

Giyilebilir teknoloji, hareket yakalama ve sanal gerçeklik çalışmaları son yıllarda ciddi gelişmelere sahne olmuştur. Giyilebilir teknolojiler; akıllı saatlerden bileklik ve gözlüklere farklı noktalardan hem son kullanıcı tarafından daha kolay satın alınabilir olmasıyla hayatımızda yer etmektedir, hem de donanım ve yazılım geliştiriciler bu teknoloji üzerine çalışmalarını arttırmaya devam etmektedirler. Hareket yakalama teknolojileri ise, bir yandan Xbox Kinect, Nintendo Wii veya Switch gibi son kullanıcı tarafından edinilebilir oyun teknolojileri ile hayatımıza girerken, bir yandan da akademide araştırmacılar için bir ilgi odağı haline gelmiştir. Kinect kamerasının robotik araştırmalarında kilit öneme sahip bir donanım hale gelmesi bunun için güzel bir örnektir. Bunun ötesinde bu projede kullanılan Perception Neuron gibi daha gelişmiş giyilebilir hareket yakalama cihazları ise henüz son kullanıcılar arasında popüler olacak kadar satın alınabilir olmamalarına karşın araştırmacı ve üreticiler arasında yaygın kullanımları mevcuttur. Sanal gerçeklik teknolojileri ise, Android cihazlarda kullanılabilecek Google Cardboard gibi basit ve ucuz çözümler sayesinde hatırı sayılır bir popülerliğe ulaşmıştır. Bütün bu teknolojiler eğlenceye ve tüketime yönelik alanların ötesinde kullanımlara sahiptir. Örneğin hareket yakalama teknolojileri film üretiminde ve hasta takibinde [1], sanal gerçeklik ise psikolojik tedavi süreçlerinde [2] kullanılan teknolojilerdir.

Bu projede ise, hareket yakalama ve sanal gerçeklik teknolojilerinin bir arada savaş sanatları eğitiminde kullanılması amaçlanmaktadır. Önerilen sistemde; hareket yakalama kıyafeti ve bir sanal gerçeklik gözlüğü giyen kullanıcılar, kendi bulundukları konumdan akıllı telefonları için geliştirilmiş uygulamayı kullanarak internet üzerinden bağlantı kurabilecek ve hareket yakalama cihazı tarafından algılanan hareket verilerini internet üzerinden birbirlerinin telefonlarına aktararak karşılıklı antrenman yapabileceklerdir.

Böyle bir uygulamanın savaş sanatları eğitim ve çalışmalarına birden fazla katkısı olacaktır. Öncelikli olarak, çalışmak isteyen kişilerin fiziksel olarak aynı noktada bulunma ihtiyacı ortadan kalkacaktır. Bu sayede bir dojoda yapılacak çalışmalara ek olarak, şahıslar evlerinde geçirdikleri zaman diliminde de bu uygulamayı kullanarak karşılıklı çalışma imkanına sahip olacaktır. Bir araya gelme imkanı olmayan, başka şehir veya ülkelerde yaşayan insanlarla da karşılıklı olarak çalışmak mümkün hale gelecektir. Çalışma sürecinin bir oyun formatına sokulması ise, yeni başlayan sporcular, özellikle de çocuklar için bir motivasyon kaynağı haline gelecektir. Bunun yanı sıra, bazı savaş sanatlarındaki kimi tehlikeli tekniklerin çalışılması bu şekilde kolaylaşacaktır. Örneğin, aikidoda kılıç veya bıçaklarla çalışılan teknikler dojoda yüksek hızda ve tam temas ile çalışılamamaktadır. Bu tekniklerin çalışılması için bu uygulama alternatif bir yol sunacaktır. Tüm bunlara ek olarak belirtmek gerekir ki, uygulamanın sonuç olarak amacı dojo çalışmasının yerini almak değildir. Uygulama, savaş sanatları çalışması için olmazsa olmaz olan karşılıklı ve tam temaslı dojo çalışmasına paralel olarak kullanılabilecek, kendince artı ve eksi yönleri olan alternatif bir çalışma metodu olarak geliştirilmiştir.

Uygulamanın gerçekleşmesi için Unity oyun geliştirme platformu kullanılmıştır. Hareket yakalama cihazından anlık olarak alınan hareket verileri, bir masaüstü veya dizüstü bilgisayarda çalışan bir yazılım aracılığı ile BVH formatında yayınlanmış ve



söz konusu hareket yakalama cihazı için geliştirilmiş SDK kullanılarak oyun motoru içerisinde bu veri alınıp, simülasyon içerisinde kullanıcıya ait bir insan modelinin hareket ettirilmesi için kullanılmıştır. Uygulama, mobil platformlar için geliştirilmiştir ve kullanıcı, mobil cihazını bir sanal gerçeklik gözlüğüne yerleştirerek, hareketlerini aktardığı insan modelinin görüş açısından çalışma alanını ve internet üzerinden bağlı olduğu çalışma arkadaşının insan modelini görmektedir.

Sonuç olarak elde edilecek projede hedef, iki kullanıcının karşılıklı olarak mümkün olduğunca az hata ve gecikme olan gerçekçi bir simülasyon ortamında antrenman yapabilmesidir. İlk aşamada kılıç kullanımına dayalı bir simülasyonun gerçekleşmesi amaçlanmıştır, ancak ilerleyen geliştirmelerle yumruk, tekme, kollarla blok gibi farklı saldırı ve savunma tekniklerinin kullanılabileceği bir simülasyon gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

## 2 Literatür Taraması

Sanal gerçeklik ve hareket yakalamanın bir arada kullanıldığı pek çok proje mevcuttur. Rincon, Yamasaki ve Shimoda bu teknolojilerin EMG analizi ile beraber rehabilitasyon süreçlerinde kullanılması üzerinde bir çalışma yayınlamışlardır. Çalışmalarında, YEI 3-Space hareket yakalama cihazı ve Oculus Rift sanal gerçeklik gözlüğü kullanarak ağır travma geçirmiş hastaların rehabilitasyon süreçlerini kolaylaştıracak bir oyunu Unity’de geliştirmişlerdir. Oyun oynanırken hastanın durumunu takip edebilmek için EMG sinyal analizi kullanılmıştır [2].

Sanal gerçeklik ve hareket yakalama cihazlarının dans eğitimi için kullanılmasını ise Chan, Leung, Tang ve Komura önermiştir. Geliştirdikleri sistemde, sanal gerçeklik ortamında bir dans eğitmeni simüle edilmiştir. Bu sanal eğitmen, öğrencilere çeşitli dans hareketleri gösterir ve öğrenciler bu hareketleri bir hareket yakalama kıyafeti ile taklit ederler. Bu hareket yakalama kıyafetinden gelen veriye bakarak hareketin ne kadar doğru yapıldığını ölçen sanal eğitmen bu sayede öğrenciye anında geri bildirimde bulunabilir [3].

Royston, DeFanti ve Perlin ise, geliştirdikleri GraphiteVR isimli yöntem ile Samsung GearVR sanal gerçeklik gözlüğü ve Perception Neuron hareket yakalama cihazı kullanarak bir veri görselleme sistemi oluşturmuşlardır. Veri görselleme, normalde 3 boyutlu gösterilmesi gereken verilerin iki boyutlu ekranlara yansıtılması sebebiyle hep bir sorun olurken, bu sorunu veriyi sanal gerçeklik ortamında gösterip, hareket yakalama ile manipule etme imkanı sağlamıştır oluşturdukları sistem [4].

Kameralı bir hareket yakalama sisteminin hasta takibinde kullanılması ise Ye, Ci, Katsaggelos ve Liu tarafından önerilmiştir. Çalışmalarında, birden çok kameradan faydalanan bir sistemle hareket bir hareket algılama sistemi oluşturularak hastaların hareketliliklerinin otomatik fark edilebilmesi sağlanmıştır. Bu sayede, sağlık çalışanları hastanın başında beklemeden de takibini yapabileceklerdir [1].

Son olarak bu projenin ilham aldığı bir diğer çalışma ise, Bilgin tarafından geliştirilen Hareket Yakalama ile Sanal Gerçeklikte Tenis oyunu projesidir. Bu projede Bilgin, Perception Neuron hareket yakalama cihazı ve Samsung GearVR sanal gerçeklik gözlüğünden faydalanan bir tek kişilik tenis oyununu Unity oyun motoru kullanarak geliştirmiştir [5].

Bu çalışmanın daha önceki çalışmaların üzerine inşa ettiği önemli parçası ise, ağ üzerinden birden çok sayıda kullanıcının bir araya gelmesine mücade etmesidir. Bu sayede bir arada, takım halinde veya rakiplere karşı yapılması gereken spor ve diğer fiziksel aktivitelerde hareket yakalama ve sanal gerçeklik teknolojilerinden faydalanmanın mümkün ve kullanışlı olduğu gösterilmek istenmiştir. Bu kılıç düellosu simülasyonu daha genel geçer çalışmalar için bir taban oluşturacaktır.

## 3 Hedeflenen Tasarım ve Gerçeklenen Sistem

Bu bölümde, öncelikle projede kullanılan teknolojiler ayrıntılı bir biçimde anlatılacaktır. Ardından bu teknolojilerin nasıl birbiriyle entegre edildiği ve sonuçta oluşan projenin gerçekleşmesinde kullanılan yazılım metotları ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

### 3.1 Kullanılan Teknolojiler ve Entegrasyonları

#### 3.1.1 Terminoloji

Bu bölümde bu raporda sıkça kullanılacak bazı terimlerin tanımlarına yer verilmiştir. Terimlerin çoğunluğu projenin geliştirilmesinde kullanılan Unity oyun motoru ile ilgilidir.

**Asset:** Bir Unity projesinde kullanılan her türlü varlığa verilen genel bir isimdir [6]. Bu raporda genellikle Unity Asset Store veya Perception Neuron Unity SDK'sı gibi dış kaynaklardan edinilmiş parçalardan bahsederken kullanılmıştır.

**Collider:** Unity'de bir nesnenin çarpışmalarda yer alabilen kısmına verilen ad. Nesneye bir component olarak eklenir ve kapsül, küp veya “mesh” gibi çeşitli şekilleri olabilir [7].

**Component:** Unity'de GameObject'lerin üzerine eklenen ve eklendikleri nesnelere çeşitli özellikler katan “parça”lar. Betikler, rigidbody'ler, collider'lar birer component örneğidir [8].

**GameObject:** Unity'de bir sahne içerisindeki nesnelere verilen genel ad. Kendi başlarına var olmaktan öte pek bir işlevleri olmamakla birlikte, içlerinde barındırdıkları component'lerle birlikte işlevsel bir bütün olurlar [9].

**Mesh:** Bir arada belirli bir 3 boyutlu şekil oluşturan bir poligon kümesi [10]. Bu raporda genellikle “mesh collider”lardan bahsederken kullanılmıştır. Herhangi bir 3 boyutlu nesne şeklinde olabilmesi için poligonlarla inşa edilmiş colliderlara mesh collider denir. Yine raporda adı geçen convex mesh collider'lar ise dış bükey 3 boyutlu şekil oluşturan mesh'ler kullanılarak yapılmış collider'lara denir.

**MonoBehaviour:** Bütün Unity scriptlerinin kalıtıldığı (inherit edildiği) temel sınıf [11].

**NetworkBehaviour:** MonoBehaviour'dan kalıtılmış, MonoBehaviour yerine kullanıldığı zaman betik içerisinde Unity'nin ağ özelliklerinin kullanılmasına olanak sağlayan sınıf.

**Prefab:** Kompleks GameObject'lerin birer kalıp halinde kaydedilip yeni nesnelere iskelet olarak tekrar tekrar kullanılmasına olanak sağlayan bir tür asset [12].

**Rigidbody:** Bağlı olduğu nesnenin Unity fizik motorundan etkilenmesini sağlayan component [13].

**SyncVar:** NetworkBehaviour'dan kalıtılmış betiklerde kullanılabilen, sunucu ve istemciler arasında senkronize olan bir değişken türü [14].

### 3.1.2 Perception Neuron

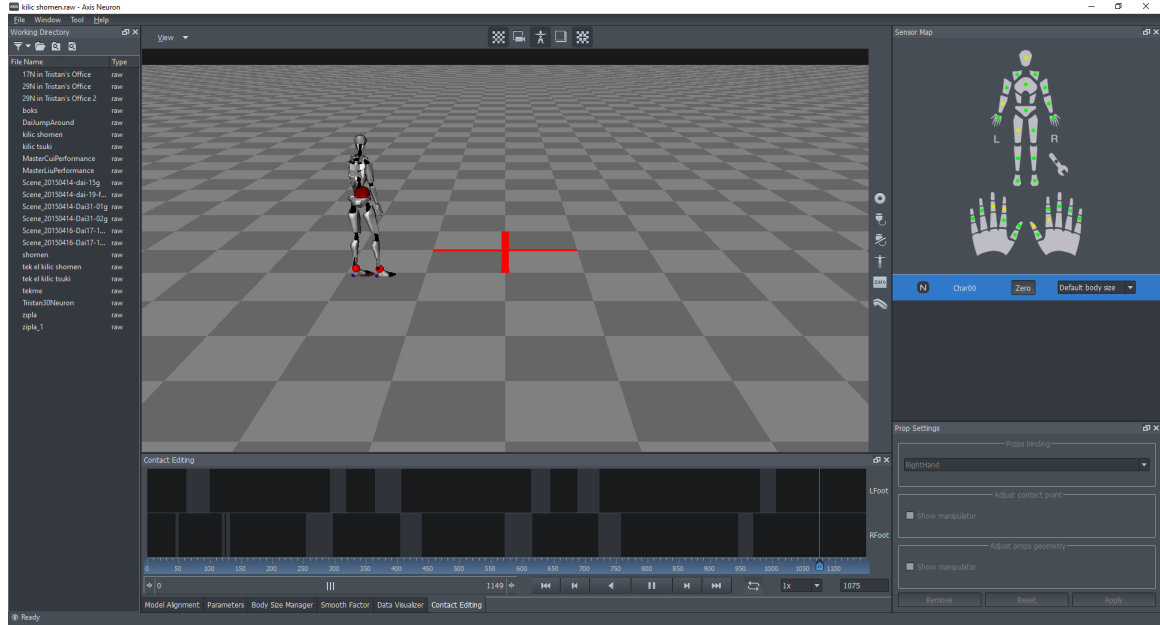
Perception Neuron, Noitom tarafından geliştirilmiş bir giyilebilir hareket yakalama cihazıdır. Cihaz, gövde ve uzuvlara yerleştirilen “Neuron” adı verilen sensörler ve bu sensörlerden gelen veriyi toplayıp Wi-Fi veya USB aracılığı ile yayınlayan bir merkezden (hub) oluşmaktadır [15]. Neuronlar, 3 boyutlu ölçüm yapabilen ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre sensörleri içeren aşağı yukarı yarım santimetre boyutunda cihazlardır [5]. Perception Neuron, kullanıcının bu Neuron sensörlerinden 32 tanesini Şekil 3.1’de görüldüğü gibi vücuduna yerleştirmesine olanak sağlar.



**Şekil 3.1:** Perception Neuron hareket yakalama cihazı ve Cardboard sanal gerçeklik gözlüğü

Şekil 3.2’de, Perception Neuron’un, hareket verisinin çeşitli şekillerde işlemek ve yayınlamak için kullandığı Axis Neuron isimli yazılım görülmektedir. Axis Neuron, Perception Neuron’dan USB veya Wi-Fi ile aldığı veriyi yazılım içerisindeki bir insansı figürü oynatmak için kullanır. Bu figürün boyut, eğim vs gibi kimlik parametreleri program içerisinde ayarlanabilir. Axis Neuron, hareketleri kaydedip Perception Neuron bağlantısı yokken oynatma imkanı sunar. Aynı zamanda, gelen hareket veri-

sini BVH formatında başka yazılım ve donanımların kullanabilmesi için ağ üzerinden yayınlamaktadır.



**Şekil 3.2: Axis Neuron yazılımı**

Perception Neuron, aynı zamanda bir asset paketi halinde bir Unity SDK'sı sunmaktadır. Bu SDK içerisinde Axis Neuron'da gözüken insansı modelin Unity'de kullanılabilir çeşitli versiyonları ve bu modelleri Axis Neuron'a bağlayıp hareket verisini takip etmelerini sağlayabilmek için gerekli kimi betikler mevcuttur. Bu betikler aracılığı ile, Axis Neuron'un ağ üzerinden yaptığı BVH formatında hareket verisi yayını Unity SDK'sında bulunan NeuronRobot modellerinden biri veya uygun iskelet yapısına sahip başka herhangi bir insansı model takip edebilir ve hareketleri Unity içerisinde aynen taklit edebilir.

### 3.1.3 Cardboard

Google Cardboard; kartondan yapılma, son derece düşük maliyetli, mobil cihazlarla kullanılabilen ve Google'ın geliştirdiği sanal gerçeklik API'si ve SDK'larından faydalanılarak programlanabilen bir sanal gerçeklik gözlüğüdür. Gözlüğün yapımı son derece basit olduğu için sayısız üretici tarafından çeşitli varyasyonları yapılmaktadır, hatta evde bile yapılması mümkündür. Bu projenin geliştirilmesinde de Şekil 3.3'te gördüğünüz son derece basit gözlük kullanılmıştır.

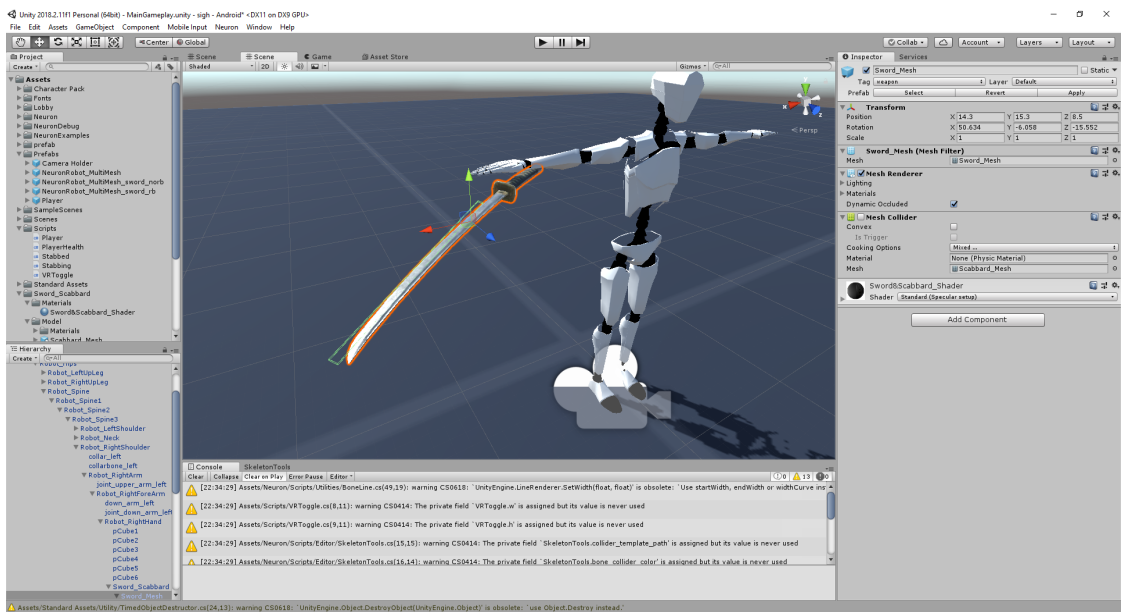
Cardboard içine bir mobil cihaz yerleştirilerek kullanılmaktadır. Bu proje geliştirilirken, Sony Xperia Z5 Compact Android akıllı telefon bu amaçla kullanılmıştır. Günümüzde tüm akıllı telefonlarda bulunan ivmeölçer ve jiroskop aracılığı ile uygulama kullanıcının kafa hareketlerini algılamakta ve bakış açısını ona göre ayarlamaktadır.



**Şekil 3.3:** Projede kullanılan Cardboard sanal gerçeklik gözlüğü

### 3.1.4 Unity

Unity, Unity Technologies tarafından geliştirilen ve çok sayıda platforma destek veren bir oyun motorudur. 2 boyutlu ve 3 boyutlu oyun, animasyon veya simülasyon geliştirmek için çok sayıda içerik üretici tarafından aktif biçimde kullanılmaktadır. Sürükle-bırak formatında araçlarla uygulama geliştirmeye olanak sağlayan editör arayüzünün yanı sıra, C# programlama dilinde Unity'nin geliştiricilere sunduğu API'ler yardımıyla kod yazarak uygulama geliştirmek de mümkündür [16]. Şekil 3.4'te Unity'de projenin geliştirilme sürecinden bir ekran alıntısı görülmektedir.

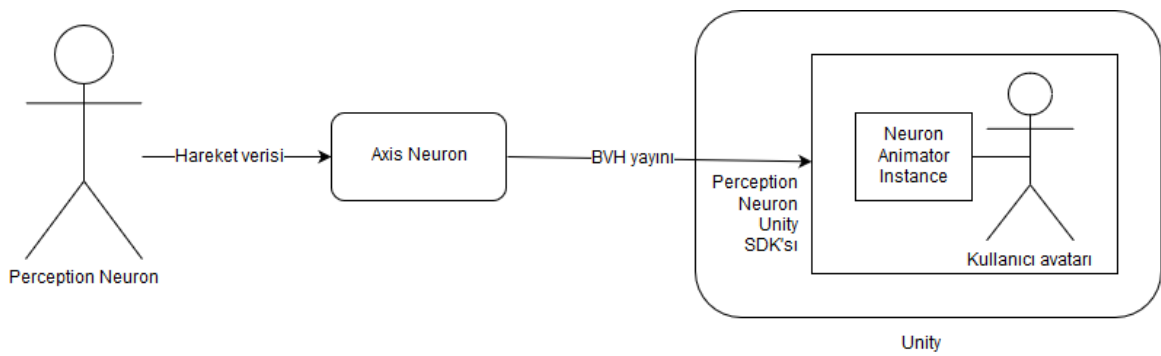


**Şekil 3.4:** Unity'de projenin geliştirilme sürecinden bir görüntü

Google'ın Cardboard cihazlar için sağladığı SDK ve Unity'nin kendi XR API'si projede sanal gerçeklik ortamının oluşturulması için kullanılmıştır. Projenin Android cihazlara yüklenip çalıştırılabilir APK formatında derlenmesi için Android Studio ile birlikte gelen Android SDK'sı ve Java Development Kit (JDK) kullanılmıştır. Perception Neuron ile entegrasyon ise, Perception Neuron için geliştirilmiş ve Unity'ye Asset olarak eklenebilen Unity SDK'sı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

### 3.1.5 Sistem Mimarisi

Projede kullanılan tüm donanım ve yazılımın entegrasyonu için izlenen süreç, Şekil 3.5'te verilen akış diyagramında gösterilmiştir.



**Şekil 3.5:** Sistem parçalarının entegrasyonu

Öncelikle, kullanıcının giydiği hareket yakalama cihazından alınan hareket verisi, kullanıcının bilgisayarına USB veya Wi-Fi üzerinden aktarılmaktadır. Bilgisayarda çalışmakta olan yazılım, topladığı hareket bilgisini ikili (binary) BVH formatında bilgisayarın 7001 portundan yayınlamaktadır. Burada önemli bir ayrıntı, farklı yönlendiricilere (router) bağlı uzak bilgisayarlar arasında simülasyonun çalıştırılabilmesi için 7001 portunun dışarıdan erişime açılmış (yönlendirilmiş) olması gerekliliğidir. 7001 portundan yayınlanan BVH formatındaki hareket verisi, mobil cihazda çalışmakta olan simülasyon tarafından alınır ve kullanıcının simülasyon içerisindeki avatarını hareket ettirmek için kullanılır. İki kullanıcı da birbirlerinin BVH yayınlarından gelen veriyi eş zamanlı olarak takip ederler. Kullanıcılar, simülasyon içerisinde avatarlarının kafası yerine yerleştirilmiş kameralardan gelen görüntüyü, sanal gerçeklik gözlüklerini kullanarak görebilir ve kafalarını hareket ettirerek ortamda çevrelerine bakabilirler.

## 3.2 Sistem Gerçeklenmesi

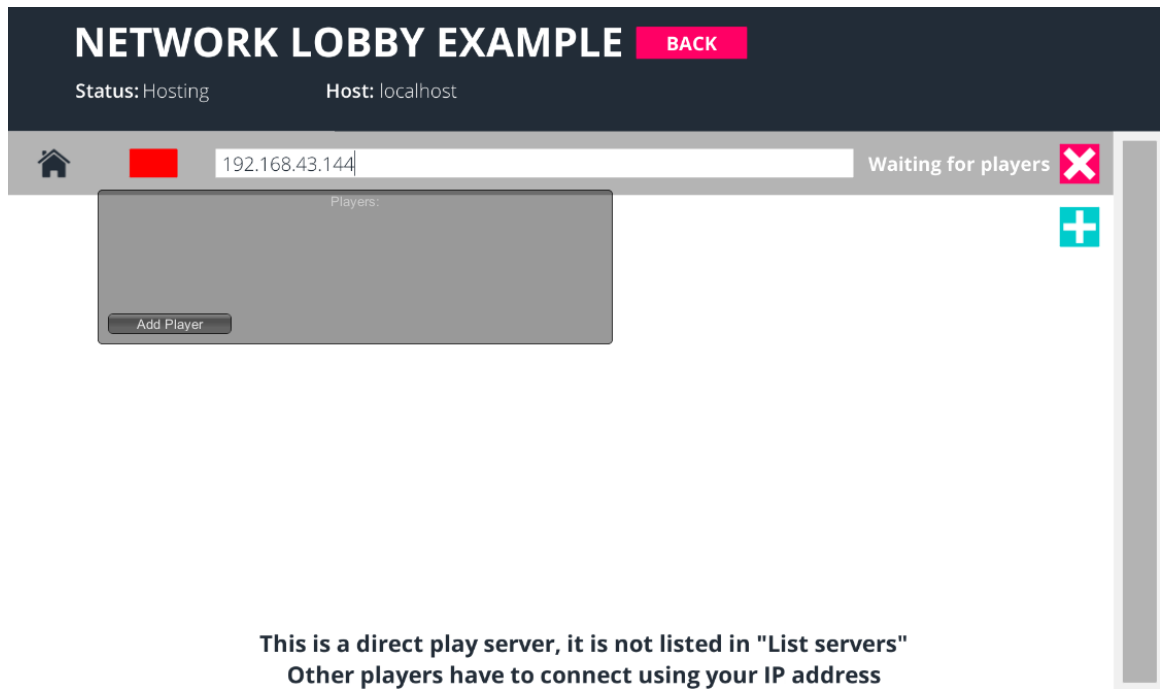
Proje yazılımının üretiminde, Unity'nin sağladığı sürükle-bırak tarzı araçlar kullanılarak bir simülasyon ortamı oluşturulmuş, bu ortamda Perception Neuron Unity SDK'sı tarafından sağlanan VR destekli insan modeli modifiye edilerek kullanılmış ve kullanıcıların bu modelleri kontrolü ve birbiri ile etkileşimini sağlamak için C# programlama dilinde betikler yazılmıştır. Bunların yanı sıra, modifiye edilmiş kimi hazır Assetlerden de faydalanılmıştır.



### 3.2.1 Lobi

Uygulama başlatıldığı zaman, kullanıcıları bir lobi ekranı karşılamaktadır. Bu lobi ekranı, Unity Asset Store'dan ücretsiz edinilebilen ve Unity Technologies tarafından örnek sağlaması amacıyla geliştirilmiş Network Lobby assetinin bir miktar ekleme yapılmış halidir.

Uygulamada, lobinin DIRECT PLAY başlığı altındaki PLAY AND HOST sekmesi kullanılmaktadır. Bu sekme kullanılarak kullanıcılardan biri oyun kurucu (host) rolünü üstlenir. Diğer kullanıcı, oyun kurucu olan kullanıcının, aynı ağ üzerindelerse dahili, farklı ağlara bağlı iseler harici IP adresini JOIN A GAME kısmındaki kutucuğa yazıp JOIN butonuna tıklayarak lobiye dahil olabilir. Şekil 3.6'da görülen yeni ekranda ise kullanıcılar, bağlanacakları BVH yayınının IP adresini kendilerine ait olan kutucuklara yazıp yanındaki JOIN butonuna tıklarlar. İki kullanıcı da JOIN butonuna tıkladıktan sonra 3 saniye içerisinde simülasyon başlar.



**Şekil 3.6:** DIRECT PLAY lobisi, Axis Neuron'un IP adresi girilmiş, yalnızca bir kullanıcı mevcut.

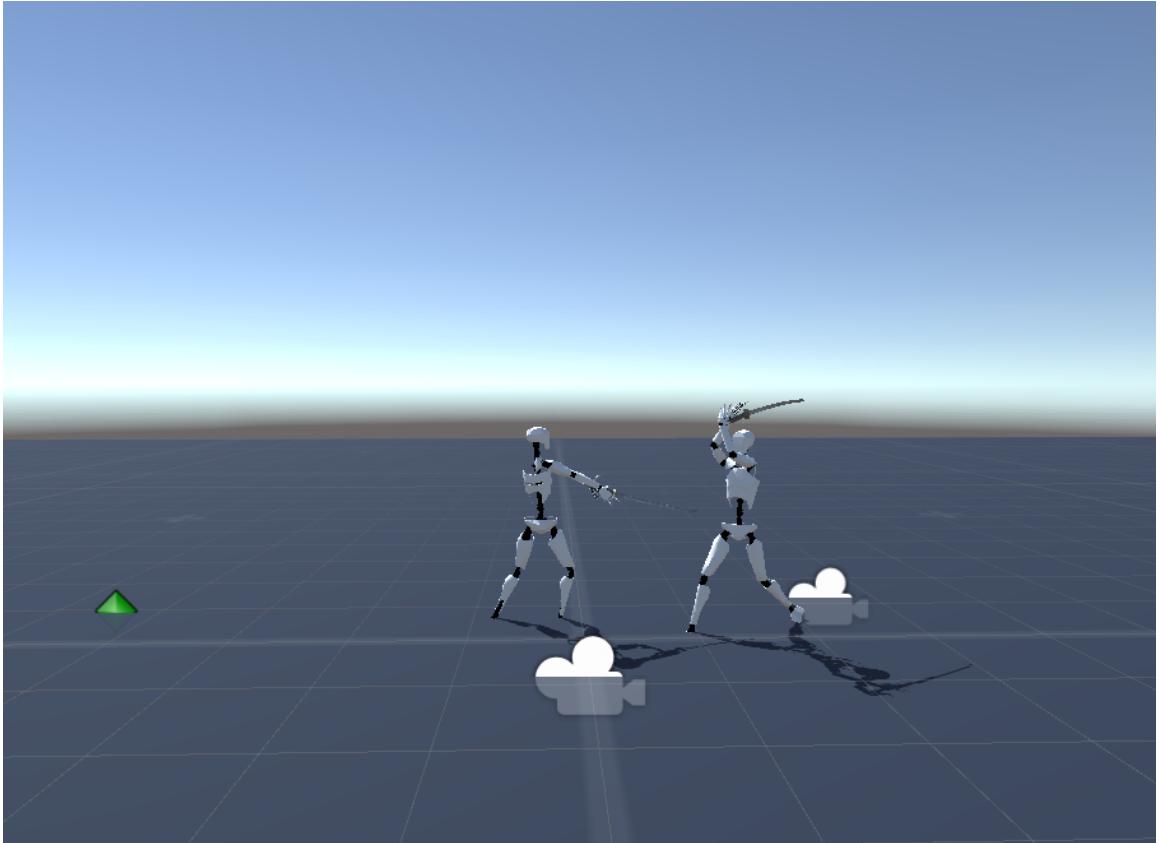
Lobinin işlevsel kısmını oluşturan LobbyManager objesi üzerinde bir Lobby Manager betiği mevcuttur. Bu betiğin parametreleri modifiye edilerek simülasyon başladığı zaman kullanıcılar için simülasyon ortamına çağırılacak model olarak istenen modelin prefab'i verilebilir ve simülasyon ortamı olarak da istenen sahne sunulabilir. Kullanıcıların girdiği IP adreslerinde yayın yapan Axis Neuron'a bağlanabilmeleri için bu LobbyManager objesine NetworkLobbyHook isimli bir betik eklenmiştir. Bu betik içerisinde, lobi sahnesinden simülasyon ortamına geçiş yaparken çağrılacak modeller/prefab'ler üzerinde, lobi sırasında mevcut bilgiler kullanılarak değişiklik yapılabilir. Betik, lobi ekranında girilen IP adreslerinin alınıp, kullanıcı avatarını oluşturan objenin/-modelin üzerindeki NeuronAnimatorInstance betiğindeki Address değişkeninin üzerine yazmak için kullanılmaktadır. Bu sayede kullanıcılar simülasyona girdikleri zaman ava-



tarları, lobideki girdikleri adreslerdeki BVH yayınından alınan hareketleri izlemektedir.

### 3.2.2 Simülasyon Çevresi

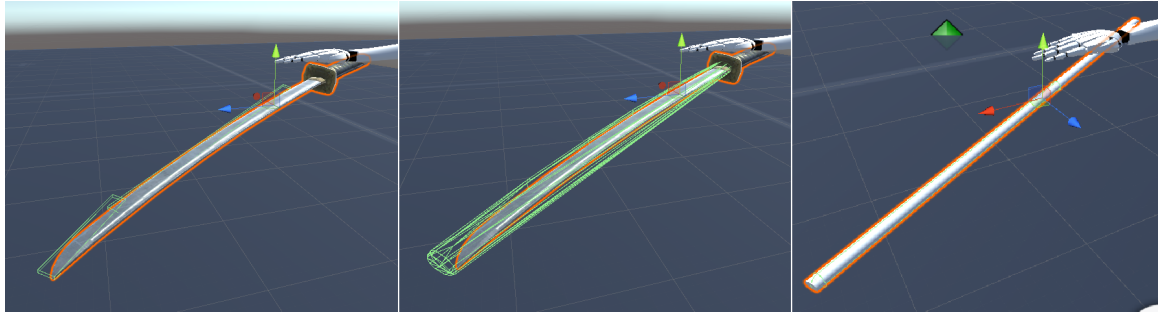
Simülasyon alanı, boş bir düzlemde oluşmaktadır. Bu düzlemde kullanıcılar bir başlangıç noktasında alana girdikten sonra, kendi avatlarını vücut hareketlerini takip edecek şekilde yönlendirebilir ve birbirleri ile etkileşime geçebilirler. İki avatar mevcutken simülasyon alanının dışarıdan görüntüsü Şekil 3.7’de görüldüğü gibidir. Simülasyon alanında harici bir nesne bulunmamasına karşın, eklenmesi durumunda kullanıcılar çevrelerindeki nesneler ile fiziksel etkileşime (itmek, çarpmak vs.) geçebilmektedirler. Kullanıcı avatarının gerçekleşmesi için, Perception Neuron Unity SDK’sı tarafından sağlanan sanal gerçeklik uygulamaları için ayarlanmış NeuronRobot\_MultiMesh isimli bir insan modeli prefab’i kullanılmıştır. Bu prefab üzerinde yapılan kimi değişiklik ve eklemeler sayesinde çok kullanıcı bir sanal gerçeklik ortamında üzerindeki kameranın sıkıntısız çalışması sağlanmış, çevre nesnelerle fiziksel etkileşime girmesi mümkün kılınmış ve simülasyon mekanikleri gerçekleşmiş ve avatarın eline simülasyon sırasında kullanabileceği bir kılıç eklenmiştir. Kamera, fiziksel etkileşim ve oyun mekaniklerinin nasıl çalıştığı ilerleyen kısımlarda daha ayrıntılı açıklanacaktır.



**Şekil 3.7:** İki avatar ile simülasyon alanı görüntüsü, Unity içerisinde uygulama çalışırken scene ekranından alınmıştır.

Avatarın elindeki silah için birden fazla alternatif çözüm denenmiştir. Projenin başında kullanılan silah, Unity içerisinde tasarlanmış basit bir eliptik silindirdir ve keskin olması

gereken kısmında kapsül şeklinde bir collider Şekil 3.8’de en sağda görüldüğü gibi mevcuttur. Şekil 3.8’de görülen diğer silah ise, Unity Asset Store’den edinilmiş ücretsiz bir assetin modifiye edilmiş halidir. Bu silahın çelik kısmı, karşıdaki kullanıcının avatarına temas ettiği takdirde karşıdaki kullanıcının avatarının ölmesine sebep olması beklenmektedir. Bu sebeple çarpışmaları algılaması için üzerine collider ve fizik kuvvetlerinden etkilenmesi için bir rigidbody eklenmesi gerekmiştir. Bu aşamada ilk olarak, Şekil 3.8’de ortadaki görselde görüldüğü gibi normalde kılıcın kabzası için tasarlanmış bir convex mesh collider kullanılması tercih edilmiştir. Ancak bu şekilde eklenen collider, avatarın eline temas edip ”kesilmesine” sebep olabildiği için, keskin kısmın saptan bir miktar daha yukarıda başlaması amacı ile farklı bir collider tasarlanması gerekmiştir. Burada, amaca uygun bir mesh collider elde etmek için herhangi bir 3D modelleme yazılımı kullanılması yerine, daha basit bir çözüm olarak iki adet basit dikdörtgen şeklinde collider Şekil 3.8’de en baştaki görselde görüldüğü gibi kullanılmıştır. Bu çözüm, yalnızca keskin kısmın ele çok yakın olması problemini çözmekle kalmamış, aynı zamanda kılıcın normalde keskin olmaması gereken arka kısmında collider bulunmamasına imkan sağlamıştır. Şu an projenin son halinde bu silah kullanılmaktadır.



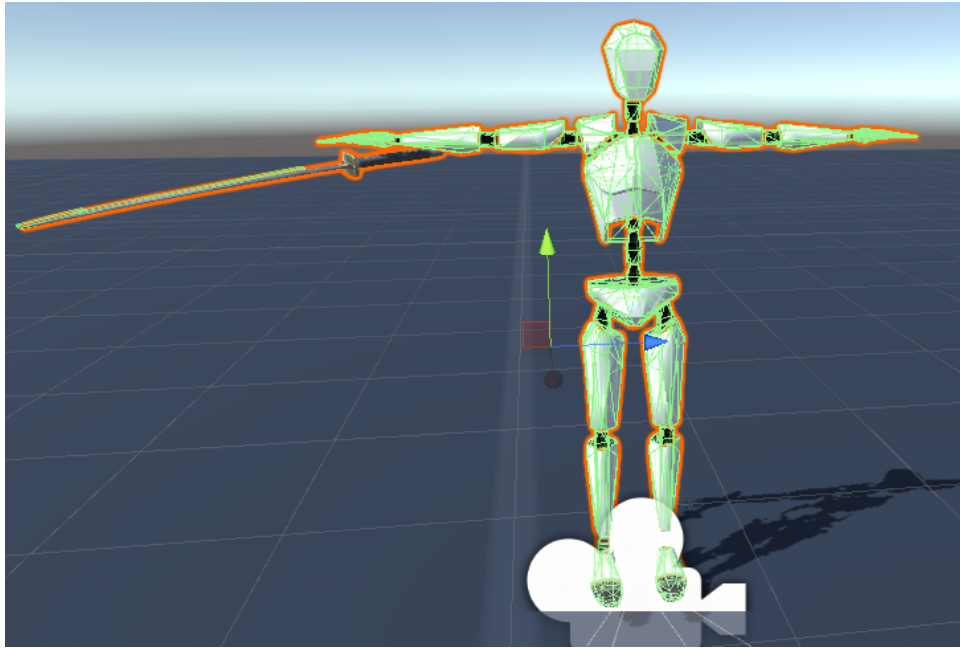
**Şekil 3.8:** Solda: Asset Store’den edinilip modifiye edilen kılıç ve iki adet basit box(kutu) collider. Ortada: Kabzasının convex mesh collider’ını kullanan kılıç. Sağda: Unity içerisinde tasarlanan silah.

Bu şekilde avatarın eline sabitlenmiş bir silah kullanılmasının sebebi, Perception Neuron’un el ve parmak hareketlerini algılamadaki hassasiyetinin ve Unity fizik motorunun çok küçük kuvvet değişimlerini hesaplama kabiliyetinin söz konusu silahı kullanıcının hareket yakalama aracılığı ile elinde tutabilmesi için yetersiz olmasıdır. Projenin ilerleyen iterasyonlarında, kullanıcının kılıcı iki eli ile daha yüksek hareket özgürlüğü ile tutabilmesi için farklı mekanizmalar geliştirilecektir.

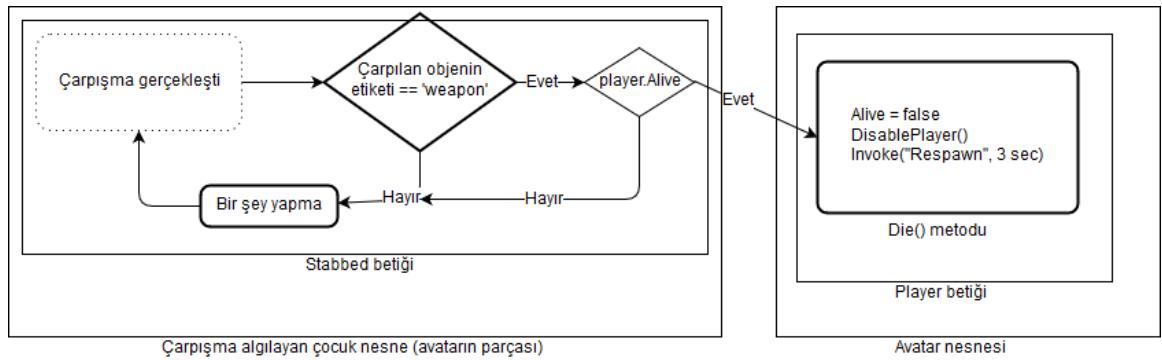
### 3.2.3 Çarpışmalar ve Fizik Motoru

Perception Neuron Unity SDK’sı, insan modellerine rigidbody eklemek için Skeleton Tools isimli bir araç sunmaktadır. Ancak SDK’nın güncel sürümlerinde aynı araç collider eklemek için kullanmak mümkün değildir. Proje boyunca bu konuda doküman eksikliği sebebiyle sıkıntılar yaşanmıştır. Sonunda sorun, insan modeli objesinin uygun çocuk objelerine convex collider’ların Şekil 3.9’da görüldüğü gibi tek tek eklenmesi ile çözülmüş ve kullanıcı avatarının çevresindeki nesneleri manipule edebilmesi mümkün kılınmıştır. Bunun bir sonraki aşaması ise, çarpışmaların simülasyon içerisindeki kılıç temasında ölme gibi mekaniklerin işlenebilmesi için kullanılması

olmuştur. Bu aşamada yaşanan önemli bir sorun, Unity'nin çarpışma algılama mekanizması sebebiyle collider'lar tarafından algılanan çarpışmaların obje hiyerarşisinde içinde rigidbody barındıran en yakın üst (parent) nesne tarafından işlenmesi sebebiyle ortaya çıkmıştır. Bu çarpışmaların algılanıp işlenebilmesi için, içinde rigidbody bulunan yani çarpışma verisinin iletildiği tüm nesnelerin içerisine çarpışmaları algılayacak Stabbed isimli bir betik eklenmiştir. Kullanıcıların tüm eklemleri, "Player" etiketine sahip nesnelerdir; ellerindeki kılıçlar ise "weapon" etiketine sahiptir. Çarpışma algılama betiği, kendi etiketi Player ise ve çarptığı nesnenin etiketi weapon ise, kendisinin bağlı olduğu kök nesneye bağlı Player betiğindeki Die() metodunu çağırarak bağlı olduğu oyuncu avatarının ölmesini sağlar. Player betiğinin içerisindeki Alive isimli bir boolean değer avatarın canlı olup olmadığını takip ederek, birden fazla eklemlerle çarpışma halinde Die() metodunun birden çok kez çağırılmasına engel olur. Şekil 3.10'daki şema da bu mekanizmayı açıklamaktadır.



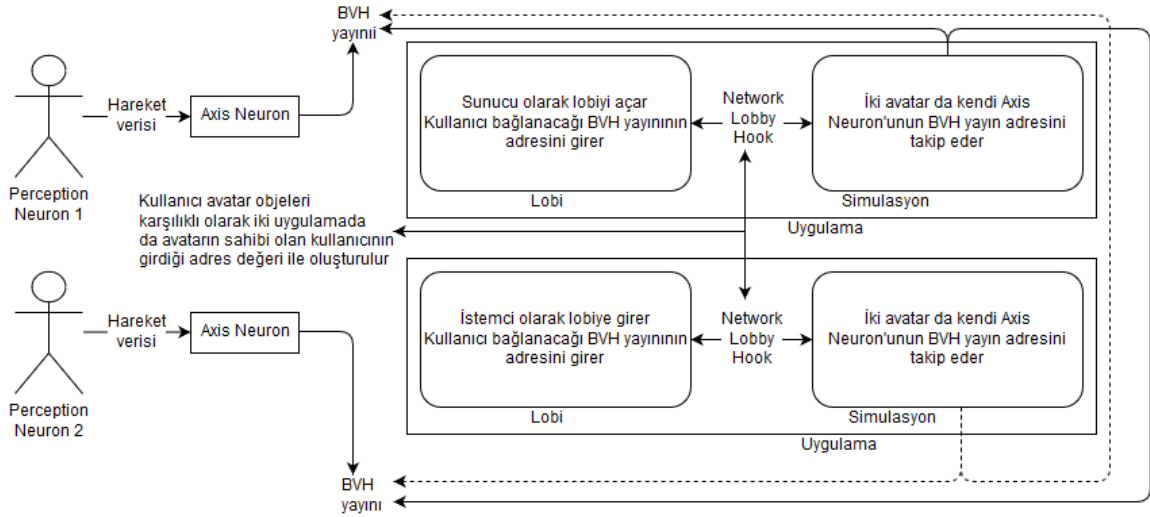
**Şekil 3.9:** Avatarın tüm beden parçalarına eklenen collider'lar



**Şekil 3.10:** Çarpışmaların çalışma mekanizması.

### 3.2.4 Ağ Üzerinden Kullanıcıların Bağlanması

Uygulamada kullanıcılar arası ağ bağlantısı kurma amaçlı Unity'nin sağladığı Multip-layer High Level API ve diğer ağ özelliklerinden faydalanılmıştır. Projenin başlarında, oyuncular arası bağlantının tamamıyla bu yapı üzerinden, bir sunucu-istemci yapısı kullanılarak gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Ancak ilerleyen kısımlarda bu yapıdan vaz geçilip, bunun yerine yalnızca hareket verilerinin aktarıldığı, bunun da Unity'nin sunduğu ağ özelliklerinden faydalanmak yerine BVH formatında yayınlanan hareket verilerine iki kullanıcının da direkt olarak kendi yerel makinaları üzerinden bağlandığı bir sistem kullanılmıştır. Uygulama içerisinde Unity'nin ağ özelliklerinden yalnızca Lobi sahnesinde ve simülasyon içerisinde kullanıcıların doğma ve yeniden doğma süreçlerinde faydalanılmıştır. Bunun haricinde uygulamanın geri kalan kısımları, asenkron biçimde kullanıcıların kendi lokal makinalarında çalışmaktadır. Bu çalışma prensibi Şekil 3.11'de basitçe gösterilmiştir.



**Şekil 3.11:** Kullanıcı hareketlerinin aktarılması. Görüldüğü üzere iki uygulama da iki kullanıcının avatarlarına ait BVH verisini direkt olarak o kullanıcıya ait Axis Neuron yazılımından almaktadırlar.

Tam senkronize bir çoklu kullanıcı yapısı yerine bu şekilde sadece hareket verisinin aktarıldığı ve tüm hesaplamaların lokal makinalarda yapıldığı bir yapı tercih edilmesinin altında üç temel motivasyon yatmaktadır: Birincisi, tüm eklemlerinin hareket verisini bir hareket yakalama cihazının yayınladığı verilerden alan ve gerçekçi fizik özelliklerine sahip olması gereken bir avatarın tüm eklemlerinin hareketlerini ağ üzerinden aktarmak mümkün ancak karmaşık bir işlemdir. İkincisi, bu şekilde hareket verisinin Axis Neuron'dan yazılan uygulamaya, oradan da işlenip uygun biçimde ağ üzerinden uzaktaki makineye aktarılması ve sunucu-istemci arasındaki istek-yanıt süreçleri uygulamaya çok ciddi gecikme süreleri ekleyip, bir simülasyonda olması gereken gerçekçiliği elde etmeyi zorlaştıracaktır. Üçüncüsü de, her ne kadar kullanıcıların uygulamayı asenkron biçimde kendi makinalarında çalıştırıyor olmaları lokal modifikasyonlara ve hile yapmaya çok ciddi olanak sunsa da, unutulmamalıdır ki gerçekleştirilmeye çalışılan uygulama rekabetçi bir oyun değil, eğitim ve çalışma amaçlı bir simülasyondur. Rekabetçi bir puan sistemi bulunmamaktadır ve amaç, rakibi yenmek değil, karşılıklı çalışmaktır. Dolayısıyla kullanıcıların hile yapmasına imkan sağlanması aslında önemli bir problem

değildir, gecikmeleri düşürüp gerçekliği korumak çok daha önemli bir kıstastır.

Perception Neuron'dan alınan verilerin ağ üzerinden aktarılması, iki kullanıcının, uygulamanın iki cihazdaki asenkron çalışan örneklerinin ikisinde de avatarlarına bağlı olan NeuronAnimatorInstance betiklerindeki address değişkeninin kendi Axis Neuron'larının yayın yaptığı adresi tutması ile mümkün kılınmıştır. Bu da yukarıda Lobi bölümünde de anlatıldığı gibi, Lobi ekranında girilen adresin çekilip simülasyon ekranına geçiş aşamasında oluşan kullanıcıya ait avatara aktarılması ile sağlanmıştır. Söz konusu betik Perception Neuron Unity SDK'sı tarafından sağlanmış olmasına karşın, bu şekilde çalışabilmesi (iki kullanıcı için ayrı address değerleri tutabilmesi) için bu script içerisinde tanımlanan NeuronAnimatorInstance sınıfının temel aldığı (kalıtıldığı/inherit edildiği) NeuronInstance sınıfının bulunduğu betikte kimi değişiklikler yapılması gerekmiştir. Sınıf, MonoBehaviour yerine NetworkBehaviour sınıfını temel alacak şekilde düzeltilip, address değişkeni ve kimi başka değişkenler SyncVar olarak yeniden tanımlanmıştır.

Bunun haricinde ağ kullanan özellikler, kullanıcı avatarlarına ait mekaniklerin tanımlandığı Player isimli betik içerisindeki başlama ve ölünce yeniden doğmayı kontrol eden Start() ve Respawn() metotları ile kameraların aktive edildiği EnablePlayer() metotlarıdır. Bu metotlarda kullanıcının sunucu veya istemci olmasına bağlı olarak (her ne kadar tam olarak bir sunucu-istemci sistemi kullanılmasa da Unity için kullanıcılardan biri sunucu diğeri istemcidir) simülasyon alanında doğacakları nokta belirlenir ve iki avatardan sadece o anda kontrol edilenin kamerası aktifleştirilir.

### 3.2.5 Simülasyon Akışı ve Mekanikler

Bu kısımda simülasyon sahnesine geçildikten sonra uygulamanın çalışma akışı ve mekanikleri açıklanmıştır.

Simülasyonun kullanıcılar için akışını, iki kullanıcının da avatarına eklenmiş olan Player isimli betik belirlemektedir. Betiğin nasıl çalıştığı Şekil 3.12'deki akış diyagramında da gösterilmiştir.

Bu betik içerisindeki Start() metodu başlangıcı belirler. Öncelikle iki kullanıcı da önceden belirlenmiş sabit bir konumda doğacak şekilde ayarlanırlar: Sunucu için (0, 0, 0) ve istemci için (0, 0, 2). Ardından betiğin bağlı olduğu kullanıcı avatarını çalıştıracak EnablePlayer() metodu çağırılır.

EnablePlayer() metodu içerisinde, avatari aktifleştirmek için öncelikle kullanıcının görüşünü sağlayacak, avatarın kafası yerine yerleştirilmiş kamera aktive edilir. Ardından avatara bağlı olan NeuronAnimatorInstance betiği aktive edilir ve Axis Neuron ile bağlantısı kurulur.

Simülasyon bu şekilde başlar ve kullanıcılar avatarlarını kontrol ederek ellerindeki kılıçlar yardımıyla birbirlerine karşı hamle yapabilirler. Kılıçların oyunculara temas edip etmediği ise, üzerinde rigidbody bulunan tüm vücut parçalarına eklenmiş olan Stabbed betiği ile kontrol edilir. Simülasyon içerisinde yalnızca kılıçlar "weapon" olarak etiketlenmiştir, oyuncu avatarlarının tüm parçaları ise "Player" olarak etiketlenmiştir.

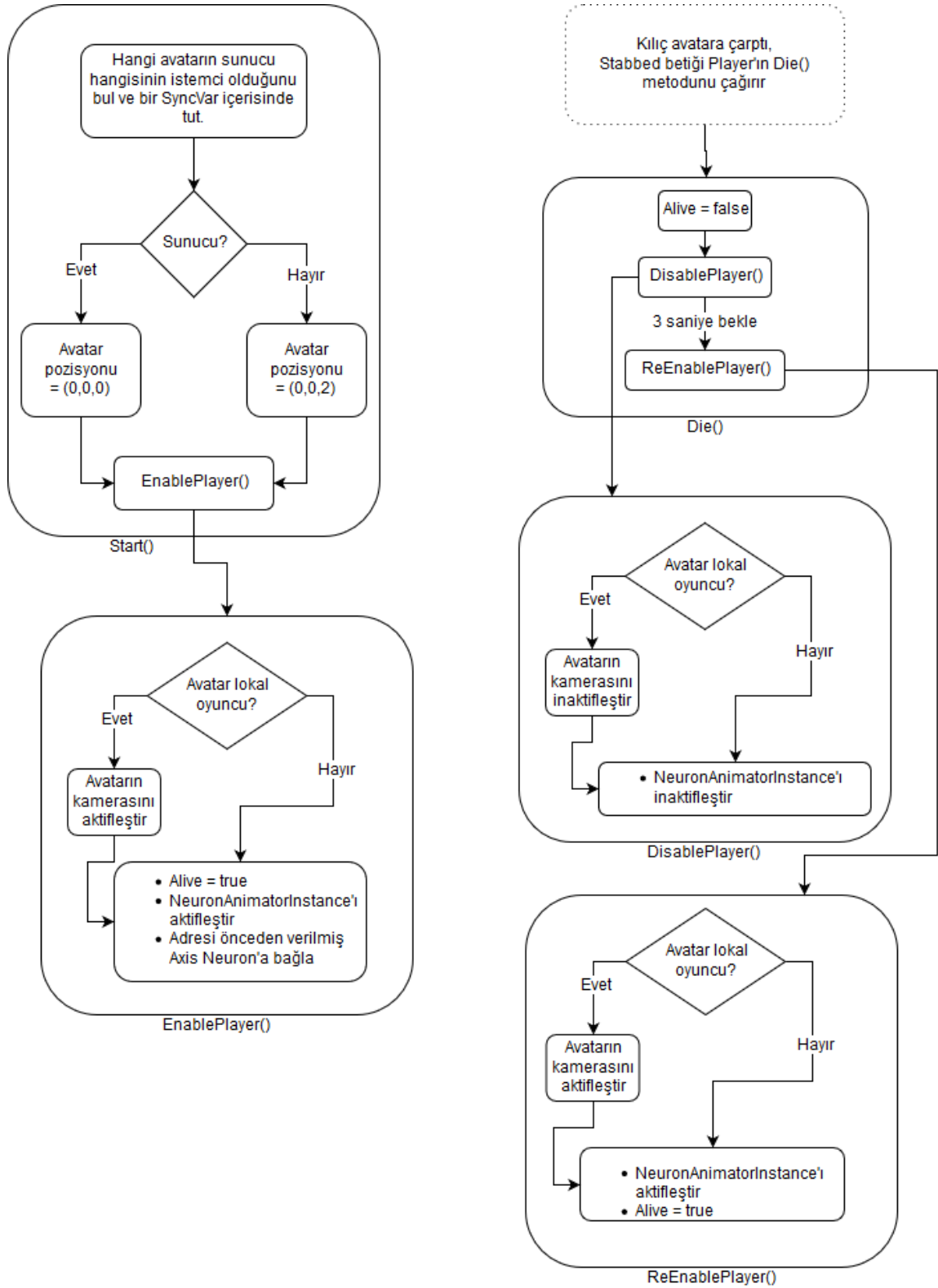
Stabbed scripti, bağılı olduğu nesne “Player” etiketine ve çarptığı nesne “weapon” etiketine sahipse çalışır, ve kendisinin bağılı olduğu nesnenin en üst atası (root) olan kullanıcıya bağılı Player betiğı içerisinde yer alan Die() metodunu çağırarak çarpışmanın gerçekleştiğı avatarın ölmesini sağlar. Birden fazla eklem çok kısa aralıklarla çarpması durumunda Die metodunun birden çok kez çağrılmasını önlemek için avatarın hayatta olup olmadığını takip eden bir boolean değişken tutulmaktadır. Kılıcın sapı ile temasın silahın sahibi olan avatarı öldürmesine engel olmak için de kılıcın mesh collider’ı olarak kılıcın tamamını kapsayan kendi collider’ı yerine yalnızca çelik kısmın etrafını kapsayan kabza için tasarlanmış collider kullanılmıştır.

Avatarı öldüren Die() metodu ise, avatarı kullanılmaz hale getirmek için DisablePlayer() metodunu çağdıktan sonra, 3 saniye içerisinde yeniden doğması için Respawn() metodunu gecikmeli olarak çağırır.

DisablePlayer() metodunun ise tüm yaptığı, kullanıcıyı kamerasını ve NeuronAnimatorInstance betiğini deaktive ederek ekranının kararmasını sağlamak ve avatarını kontrol etmesine engel olmaktır.

Bunun ardından çağrılan Respawn() metodu, kullanıcının simülasyona başlama pozisyonunu tekrar ayarlar ve ReEnablePlayer() metodunu çağırır.

Son olarak da ReEnablePlayer() metodu, simülasyonun başlangıcı için yapılması gereken bazı ekstra adımları atlamak şartıyla EnablePlayer() metodunun yaptıklarının birebir aynısını yapar: kullanıcı kamerası ve NeuronAnimatorInstance betiğini yeniden aktifleştirir.



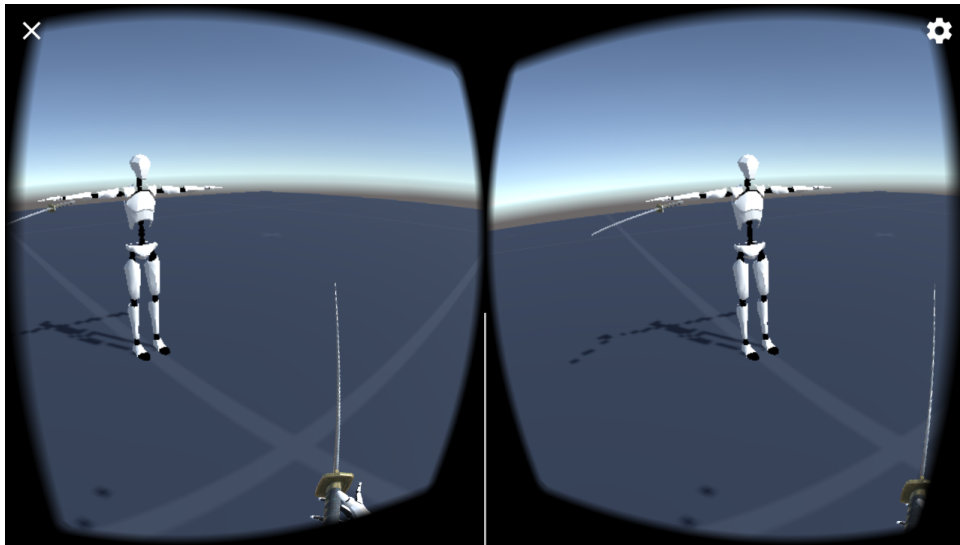
**Şekil 3.12:** Player betiği için akış diyagramı.

### 3.2.6 Sanal Gerçeklik

Sanal gerçeklik kısmının gerçekleşmesi için Google Cardboard SDK'sından, Unity'nin XR API'sinden ve Perception Neuron Unity SDK'sının içinde bulunan sanal gerçeklik örneklerinden faydalanılmıştır. Uygulama ilk açıldığı sırada kullanıcının karşısına çıkan lobi ekranı sanal gerçeklik kullanmamaktadır. Bunun bir numaralı sebebi, sanal gerçeklik kullanırken IP adresi girmenin kullanıcı açısından yaratacağı zorluktur. Simülasyon başladığında ise, sanal gerçeklik moduna otomatik olarak geçilmektedir.

Perception Neuron Unity SDK'sı tarafından sağlanan sanal gerçeklik örneğinde kullanılan insan modelinin kafası yerine kamera koyulmuştur. Ancak uygulamada kamera hala aynı konumda mevcutken modelin kafası tekrar yerine eklendiğinde kullanıcının görüşünde bir sıkıntı olmadığı fark edilmiştir. Bu sebeple, kafasıyla beraber bütün bir insan modeli kullanılmıştır. Modelin kafasının olduğu konuma aynı zamanda bir kamera mevcuttur. Bu kamera, Camera Holder isimli bir GameObject'in çocuk objesi olarak ayarlanmıştır. Camera Holder ise, yukarıda bahsedilen sanal gerçeklik örneklerinde kullanılan Neuron VR Adapter isimli bir betiğe sahiptir. Bu betik, kameranın bakış açısı olarak telefonun yönelişini baz almasını, konum olarak ise avatarın kafasının bağlı olduğu bağlantı noktasını takip etmesini sağlar. Örnekten farklı olarak, bu projede Camera Holder bağımsız bir nesne olarak değil, avatarın bir çocuk objesi olarak gerçekleşmiştir. Bunun sebebi, avatarın önceden simülasyon alanında bulunan değil, doğan (spawn olan) bir nesne olmasıdır.

Lobiden sonra sanal gerçekliğe geçme mekanizması için ise Camera Holder'ın çocuk objesi olan kameraya VR Toggle isimli bir betik eklenmiştir. Bu betik basitçe, kamera yaratıldığı zaman (Start() metodunda)) Unity XR'ın kullandığı sanal gerçeklik SDK'sını "None"dan ("hiçbiri"nden) "cardboard"a çevirmektedir. Kamera yok edildiğinde ise (OnDestroy() metodunda) sanal gerçeklik modundan SDK'yı tekrar "None"a çevirerek çıkılmasını sağlar. Sanal gerçeklik moduna geçildiğinde oyun içi bir görüntü Şekil 3.13'te görülebilir.



**Şekil 3.13:** Sanal gerçeklikle oyun içi bir görüntü. Karşıda görünen avatar herhangi bir Axis Neuron'a bağlanmamış.



## 4 Test Ortamı ve Testler

Gerçekleştirilen testlerde geliştirilen sistem üç aikido sporcusuna denetlenmiştir. Deneklerden ikisi ileri seviye öğrenci, diğeri ise asistan eğitmendir. Bu aşamaya kadar sistem daha önce iki mobil cihaz arasında hareket yakalama sistemleri ile birlikte denenmediği için, bu deney süreci hem deney hem de hata ayıklama süreci olarak işlev görmüştür. Sistemdeki çok sayıda daha önceki testlerde fark edilmemiş hata bu süreçte düzeltilmiştir.

### 4.1 Test Ortamı

Testler, üç denek ile kapalı bir mekanda gerçekleştirilmiştir. Öncesinde bir oda içerisinde, ardından daha geniş bir koridorda test edilmiştir sistem. Denekler ikili gruplar halinde sistemi denemişlerdir. İki adet Perception Neuron hareket yakalama cihazı ve biri Cardboard diğeri ise Freefly VR olmak üzere iki adet sanal gerçeklik gözlüğü kullanılmıştır. Deneyler, iki telefon aynı Wi-Fi ağına bağlı iken gerçekleştirilmişlerdir. Bir mobil cihazın taşınabilir Wi-Fi hotspot özelliği kullanılmış ve testler 3G ve LTE bantları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulama, Sony Xperia Z5 Compact ve Samsung Galaxy S4 akıllı telefonlarında Android 5.1 ve 7.1 işletim sistemleri üzerinde denenmiştir.

Test ve hata ayıklama süreçleri birlikte yürütülmüştür. Deneklerin dahil olduğu iki günlük süre boyunca sürekli olarak sistem test edilmiş, bulunan hatalar düzeltilmiş ve tekrar test edilmiştir.

### 4.2 Testler

Testler sırasında öğrencilerden biri, sırasıyla diğeri öğrenci ve eğitmenle karşılıklı olarak simülasyona girmiştir. İki kişi karşılıklı mücadele etmeye çalışmıştır.

Testler sırasında sistemde hala düzeltilmesi gereken hatalar olmakla birlikte, genel olarak başarılı olduğu ortaya konmuştur. Denekler sistemi iki gün boyunca test etmiş ve sonunda on soruluk bir ankete cevap vermişlerdir. Sonuçlar sistemin hala geliştirilmesi gerektiğini ancak ileride savaş sanatları eğitiminin bir parçası olmak için umut vadedtiğini ortaya koymuştur.

Testler iki cihaz aynı ağa bağlıyken sistemdeki gecikme miktarının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu da göstermiştir.

Testler sırasında ortaya çıkan ve düzeltilmesi gereken önemli sorunlardan biri, hareket yakalama cihazından gelen vücut doğrultusu bilgisi ile akıllı telefonun jiroskopundan gelen kafa doğrultusu verisi arasındaki uyumsuzluktur. Her bir kaç denemede bir, kullanıcılardan birinin simülasyonda gördüğü alan ile vücudunun baktığı doğrultunun uyumsuz olduğu gözlemlenmiştir.

Kullanılabilirlik konusunda ise, kılıcın ele sabitlenmiş olması, özellikle eldeki sensörlerin

kalibrasyonunda bir kayma olduğu zaman kılıcın kontrolünü zorlaştırmaktadır. Bununla ilgili çözüm önerileri ileride tartışılacaktır.

Testlerin sonunda deneklerin ikisine on soruluk bir anket yapılmıştır. Ankette sistem ile ilgili kimi tespitlerde bulunulmuştur ve katılımcılardan 1 "Kesinlikle Katılmıyorum" ve 5 "Kesinlikle Katılıyorum" anlamına gelmek üzere tespitlere 1-5 arasında puan vermesi istenmiştir. Tespit, sistem kullanılabilirliği ölçütü (SUS) anketlerine benzer şekilde bir olumlu bir olumsuz olarak hazırlanmıştır. Sonunda verilen cevaplar üzerinden standart sistem kullanılabilirliği ölçütü kullanılarak bir puan hesaplanmıştır. Ankette sunulan tespitler şu şekildedir:

- Simülasyon yeterince gerçekçiydi
- Karakterimi kontrol etmek zordu
- Tepki süreleri kısa ve gecikme azdı
- Uygulamayı kullanmaya başlamak çok zahmetliydi
- Uygulamayı kullanırken çok keyif aldım
- Uygulamayı kullanabilmek için ciddi miktarda teknik bilgiye ihtiyaç duydum
- Bu sistemin savaş sanatları eğitiminde (öğrenci veya eğitmen olarak) kullanılmasının faydalı olacağını düşünüyorum
- Bu sistemin işe yarar bir alternatif antrenman yöntemi olarak kullanılamayacağını düşünüyorum
- İmkânım olsa bu sistemi sıkça kullanırdım
- Uygulamanın çalışmasında ciddi tutarsızlıklar vardı

Her tespitın anket sonucuna göre puan katkısı hesaplanmıştır. Olumsuz tespitler için puan katkısı "5 - ortalama puan" şeklinde, olumlular için ise "ortalama puan - 1" şeklinde hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen puan katkıları toplanıp 2,5 ile çarpıldığında ise sonuç puanına ulaşılmıştır: 77,5. Bu puan, sistem kullanılabilirliği ölçütüne göre "iyi" sınıfına girmektedir.

## 5 Kıyaslamalı Değerlendirme ve Tartışma

Önceki çalışmalara kıyasla, bir ağ yapısının kullanılması, sitemin karmaşıklığını arttırmış ve hataların çözülmesini daha zor hale getirmiştir. Buna rağmen, bir konseptin ispatı olarak başarılı bir sistem elde edilmiştir.

Bu projenin ilham kaynaklarından biri olan, Hareket Yakalama ile Sanal Gerçeklikte Tenis Oyunu [5] projesi ile nitel bir kıyaslama yapmak mümkündür. Sözü edilen projede, tek kişilik bir oyun alanında sanal gerçeklik kullanılarak tek kişilik bir tenis oyunu simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu yeni projenin bunun üzerine koyduğu en önemli unsur, ağ üzerinden bağlı birden fazla kullanıcının varlığıdır. Bu, daha ilerleyen çalışmalarda, rekabetçi oyunlardan birlikte yapılması gerekecek fiziksel aktivitelere çok sayıda uygulamaya alan açmaktadır.

## 6 Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Bu projede iki kişinin ayrı konumlardan bağlanıp karşılıklı olarak çalışabileceği bir savaş sanatları simülasyonu yapılması amaçlanmıştır. Şimdilik, projenin kapsamı genel bir savaş sanatları simülasyonundan ziyade, kılıç dövüşü ile kısıtlı tutulmuştur. Amaç, iki kişinin karşılıklı olarak gerçekçi bir simülasyon ortamının içerisinde normal koşullarda gerçek silahlarla çalışamayacakları biçimde kılıçla mücadele tekniklerini çalışabilmeleridir. Sonuç olarak elde edilen üründe bu amaç gerçekleşmiştir. Elbette düzeltilebilecek, ek yapılabilecek, eniyilenebilecek çok sayıda noktası olmakla beraber; bütün bunların üzerine inşa edilebileceği sağlam bir temel oluşturulmuştur.

Bu noktada artık, elde edilen uygulamanın hangi eksiklerinin kapatılabileceği ve üzerine nasıl gelişmeler yapılabileceğini tartışmak gerekir.

İlk olarak, daha uzun ve kapsamlı bir test ve hata ayıklama süreci sonunda sistemdeki mevcut eksiklerin giderilmesi gerekmektedir. Sık yaşanan bakış-duruş uyumsuzluğu sistemin bir numaralı problemi ve çözülmeyi beklenmektedir. Bunun haricinde, daha nadir yaşanan ağdan düşme veya uygulama örneklerinin birisinin hareket yakalama cihazına bağlanamaması gibi sorunlar mevcuttur. Tüm bu sorunların çözümü ancak daha çok deney, kayıt dosyalarının tutulması ve özenli hata ayıklama ile mümkündür.

Kullanıcı deneyimini arttırmak için ise bu projeye yapılabilecek kimi eklemelerden burada bahsetmek gerekiyor. Öncelikle, kullanılabilirliği ciddi anlamda düşüren silahın ele sabitlenmesi problemi için bir çözüm önerisi: kılıcın sapını iki ele bağlı eksenler etrafında döner hale getirmek. Aikidoda, kılıç kullanımının esaslarından birisi kılıcı sabit bir biçimde tutmak yerine, bir kaldıraç misali bir eli destek noktası diğer eli ise kuvvet kolu yaparak hamle yapmaktır. Bu prensip bu projeye uygulanabilir, kılıcın sağ elde bir eksen etrafında dönmesi sol elin ise bu dönüşü kontrol etmesi şeklinde bunu gerçeklemek mümkün.

İkinci bir kullanıcı deneyimi arttırıcı iyileştirme de muhakkak silah dizaynı ile ilgili olacaktır. Şu an mevcut silahlar birbiriyle çarpışamamakta, birbirinin içinden geçmektedir. Aynı zamanda, her ne kadar colliderlar sadece silahın keskin kısmında olsa da, silah bedenin içinden geçebildiği için keskin olmayan tarafla vurularak da rakibi öldürmek mümkündür. Bu sorunların çözülmesi için silah ve silahla ilgili fizik özellikleri ile ilgili çalışma yürütülmelidir.

Bunların haricinde yapılabilecek önemli bir ekleme ise, kapsamı kılıç dövüşünün dışına çıkıp, yumruk tekme gibi saldırıların ve bunlara karşı blok alma mekanizmalarının gerçekleşmesi olacaktır. Burada temas halinde direkt ölmekten ziyade, bir puan veya kalan can sistemi kullanılabilir.

Son olarak akla gelen olası geliştirmeler, daha iyi (mümkünse sanal gerçeklikle uyumlu çalışan) bir lobi ekranı ve kimi kozmetik iyileştirmeler olacaktır.

Burada sayılan yapılabilecek düzeltme ve geliştirmelerin hepsi bu projenin devamı için yakın zamanda uygulanması planlanan iyileştirmelerdir.

Bu projenin iyileştirilmesinin yanı sıra, burada gösterilen teknolojiler ve sistem mi-

marisi taban alınarak yeni projeler de geliştirilebilir. Farklı spor dalları veya fiziksel aktiviteler için benzer sistemler kurmak mümkündür. Neredeyse bütün çok oyunculu spor oyunları, hareket yakalama ve sanal gerçeklik sayesinde gerçek bir sportif aktiviteye dönüştürülebilir.

Bu raporda bahsedilen sistemde de, farklı bedensel aktiviteler için ileride kurulabilecek çok kullanıcı hareket algılama sistemlerinde de karşılaşılabilecek en önemli sorunlardan birisi kullanıcıların çarpışması sorunudur. Bu tarz sistemlerde kullanıcıların birbirine çarpması gibi etkileşimler gerçekçi fizik kuralları ile gerçekleştirilemez, çünkü bu durum simülasyon içerisindeki fizik işlemlerinin sonucu ile hareket yakalama cihazından gelen hareket verileri arasında bir çelişkiye sebep olacaktır. Kullanıcı simülasyon ortamında aynen yerinde fizikten etkilenip ona göre konum alırken, gerçek hayatta etkilenmeyecektir. Bu soruna karşı sunulabilecek bir çözüm önerisi şu olabilir: simülasyonda kullanıcılar arası bir çarpışma algılandığı zaman çarpışan kullanıcının hareket yakalama cihazı ile bağlı bir süreliğine kesilip o sırada önceden belirlenmiş bir çarpışma animasyonu oynatılabilir. Animasyon oynatıldıktan sonra, kullanıcı avatarının kontrolü tekrardan hareket yakalama cihazına aktarılır. Bu yöntemin, yukarıda da bahsedilen yumruk tekme gibi vuruşların da olduğu genel savaş sanatları simülasyonunda kullanılması planlanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] "A multi-camera motion capture system for remote healthcare monitoring." *2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Multimedia and Expo (ICME), 2013 IEEE International Conference on*, p. 1, 2013. [Online]. Available: <http://0-search.ebscohost.com.divit.library.itu.edu.tr/login.aspx?direct=true&db=edsee&AN=edsee.6607566&lang=tr&site=eds-live>
- [2] "Design of a video game for rehabilitation using motion capture, emg analysis and virtual reality." *2016 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP), Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP), 2016 International Conference on*, p. 198, 2016. [Online]. Available: <http://0-search.ebscohost.com.divit.library.itu.edu.tr/login.aspx?direct=true&db=edsee&AN=edsee.7438575&lang=tr&site=eds-live>
- [3] "A virtual reality dance training system using motion capture technology." *IEEE Transactions on Learning Technologies, Learning Technologies, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Learning Technol*, no. 2, p. 187, 2011. [Online]. Available: <http://0-search.ebscohost.com.divit.library.itu.edu.tr/login.aspx?direct=true&db=edsee&AN=edsee.5557840&lang=tr&site=eds-live>
- [4] S. Royston, C. DeFanti, and K. Perlin, "A collaborative untethered virtual reality environment for interactive social network visualization," *arXiv preprint arXiv:1604.08239*, 2016.
- [5] E. Bilgin, "Hareket yakalama ile sanal gerçekte tenis oyunu," 2018.
- [6] "Unity – manual: Asset workflow," online. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/AssetWorkflow.html>
- [7] "Unity – manual: Colliders," online. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/CollidersOverview.html>
- [8] "Unity – manual: Using components," online. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/UsingComponents.html>
- [9] "Unity – manual: GameObject," online. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-GameObject.html>
- [10] "Polygon mesh – wikipedia," online. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon\\_mesh](https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh)
- [11] "Unity – scripting api: MonoBehaviour," online. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/MonoBehaviour.html>
- [12] "Unity – manual: Prefabs," online. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/Prefabs.html>
- [13] "Unity – manual: Rigidbody," online. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-Rigidbody.html>

- [14] “Unity – scripting api: Syncvarattribute,” online. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Networking.SyncVarAttribute.html>
- [15] “Mocap 101 — perception neuron by notiom,” online. [Online]. Available: <https://neuronmocap.com/content/mocap-101>
- [16] “Unity (game engine) – wikipedia,” online. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Unity\\_\(game\\_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine))