

İnsansız Hava Araçları İçin Modüler Bir Simülasyon Tasarım Örneği

Kadir Alpaslan Demir, Halil Cicibaş, Nafiz Arıca

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Deniz Harp Okulu, İstanbul

e-posta: { kademir, hcicibas, narica }@dho.edu.tr

Özetçe

Son yıllarda insansız hava araçları (İHA) oldukça yaygınlaşmıştır. Gerek sivil gerekse askeri alanda kullanımı çeşitlenmekte ve bunlara bağlı olarak da İHA alanında yapılan çalışmalar artmaktadır. Bu maliyetli sistemlerin geliştirilmesinde değişik kullanım şartlarında performanslarının önceden tahmin edilmesi, çeşitli teknolojilerin uygulanmadan önce denenmesi simülasyonlar sayesinde maliyet etkin bir şekilde yapılabilmektedir. Bu bildiriye insansız hava araçları için modüler bir simülasyon tasarım örneği anlatılmaktadır. Çalışmada insansız hava araçları simülasyon literatüründe pek de yer bulmayan modülerlik ve geliştirilebilirlik üzerine vurgu vardır. Simülasyon tasarımında modülerlik ve geliştirilebilirliğe nasıl ulaştığımız örnek üzerinden anlatılacaktır.

1. Giriş

İnsansız hava araçlarının kullanımı her geçen gün yaygınlaşmakta ve bu alanda yapılan çalışmalar artmaktadır. Bu çalışmalarda önemli hedeflerden bir tanesi İHA'ların ya tamamen otonom olarak ya da büyük oranda otonom olarak görevlerini icra edebilecek seviyeye gelmelerini sağlamaktır. Bu hedefe ulaşılabilmesi için İHA'ların otomatik olarak güzergah planlaması yapabilmesi gerekmektedir. Konuyla ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen, bu teknolojilerin tamamen olgunlaştığı söylenemez. Bu teknolojileri İHA'lara yerleştirmeden evvel güzergah planlanmasının gerçek operasyon ortamları için yeterli seviyeye gelmesi gerekmektedir. Simülasyon geliştirmek güzergah planlama teknolojilerinin gerçek operasyon ortamlarındaki davranışlarını önceden anlayabilmek ve teknolojilerin uygunluğunu tespit etmek için sistemlerin geliştirilmesinde kullanılacak önemli tekniklerden biridir. Bu bildiriye çok kriterli güzergah planlaması için modüler ve genişletilebilir bir simülasyon tasarım örneği anlatılmaktadır.

İHA'lar için güzergah planlama metodlarının simülasyonlar ile test edilmesi üzerine literatürde çalışmalar mevcuttur [6-11]. Tablo-1'de, literatürde yer alan güzergah planlama çalışmalarında dikkate alınan kriterler ve kullanılan geliştirme ortamları belirtilmektedir. Bu çalışmalarda operasyonel ortama bağlı olarak çeşitli kısıtlar altında uçuş maliyetlerini azaltmayı hedeflemektedir. Ancak bu çalışmalar genelde matlab ve benzeri matematiksel model yapılarını destekleyen araçlar ile yapılmakta ve gerçek operasyon ortamlarındaki sadece belli sayıdaki kriterleri içermektedir. Ayrıca simülasyon çalışmalarında modülerlik ve genişletilebilirlik özelliklerine pek vurgu yapılmamaktadır. Bu çalışmadaki çok kriterli güzergah planlama simülasyonu

literatürdeki diğer çalışmalardan daha çok sayıda kriter içermektedir. Bunun yanında çalışmanın ilk aşamalarından itibaren geliştirilen simülasyon tasarımında modülerlik ve genişletilebilirlik ön planda tutulmuştur. Kullanılan simülasyon ortamları ve araçları bu özellikleri destekleyecek şekilde seçilmiştir. Dolayısıyla, çalışma bu yönleri ile diğer benzer çalışmalardan ayrılmıştır. [12] çalışmasında İHA'lar için bir simülasyon mimarisi önerilmiş fakat uygulama örneği sunulmamıştır. Bizim çalışmamızdaki simülasyon tasarımının mimarisi ile [12] çalışmasındaki simülasyon mimarisi bazı açılardan benzerlikler içermektedir. Ancak, bizim çalışmamız örnek ile desteklenmiştir.

Tablo 1: Uçuş Kriterleri ve Maliyet Kısıtları[4]

Uçuş Kriterleri	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[4]
Coğrafi Yapı	✓	✓	✓	✓			✓
Mimari Yapı					✓	✓	✓
Tehditli Bölge	✓	✓		✓			✓
Min İrtifa Kuralı	✓	✓					✓
Rota-irtifa ayrımı	✓						✓
Diğer Uçaklar	✓		✓		✓	✓	✓
Bulut							✓
Hareketli Hedef					✓		✓
Hareketli Tehdit	✓		✓			✓	✓
Rüzgar	✓						✓
Uçuş Dinamiği	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Uçuş Maliyetleri							
Uzaklık	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Zaman	✓					✓	✓
Yakıt	✓					✓	✓
Kullanılan Ortam	M	D	B	M	M	B	J

M: Matlab
B: Belirtilmemiş
D: Digital Elevation Model Environment
J: Java

Bildirinin ikinci bölümünde problemin tanımı yapılmakta, üçüncü bölümde geliştirilen alan modeli anlatılmaktadır. Simülasyon tasarımı dördüncü bölümde bulunmakta olup, uygulamaya beşinci bölümde yer verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

2. Problem Tanımı

Bu araştırmanın amacı orta irtifalarda uçuş ve uzun havada kalış imkanına sahip insansız hava araçları (Medium Altitude Long Endurance Unmanned Aerial Vehicles-MALE UAVs) için modüler ve genişletilebilir çok kriterli güzergah planlama (multi-criteria path planning) modeli ve benzetimi geliştirmektir. Simülasyonda, model İHA kendisine verilen sabit ve hareketli hedefe ulaşırken belirlenen performans

kriterini eniyileyen güzergahı planlar. Ayrıca, araştırmada İHA'larının operasyonel ortamlarda gerçekçi güzergah planlama yapabilmelerine olanak sağlamak için çok sayıda kriter modellenmiştir. Buradaki hedef simülasyonlardaki gerçekçiliği artırmaktır. Bunun yanında geliştirilen benzetimin sonraki çalışmalarda kolayca geliştirilebilmesi ve diğer araştırmacılar tarafından da kullanılabilir olması araştırmanın önemli hedeflerindedir. Problemin temel özellikleri aşağıda verilmiştir:

1. Modellenen İHA orta irtifalarda uçuş ve uzun havada kalış imkanına sahip insansız hava araçları baz alınarak modellenmiştir. Ayrıca İHA modelinde çeşitli parametreler esnek olarak tasarlanmış ve bu tipteki birçok İHA'yı modelleyebilmektedir. Doğal olarak problem bu tipteki İHA'ların operasyon şartlarına göre şekillenmiştir. (Simülasyon çeşitli model parametrelerinin değiştirilmesi ile diğer tip İHA'lar için de kullanılabilir.)

2. Modelde ve dolayısıyla simülasyonda uçuş dinamikleri, meteorolojik şartlar, sabit ve hareketli tehditler gibi birçok kriter uygulanmıştır.

3. İHA hareketli ve sabit bir hedef için güzergah planlaması yapabilmektedir.

4. Simülasyon 4 boyutta yani x,y,z ve zaman boyutunda çalışabilmektedir. Böylece İHA güzergah planlama esnasında hareketli tehditlere tedbir olarak sakınabilmekte ve güvenli bir şekilde uçuşunu gerçekleştirebilmektedir. Benzer birçok çalışmada sadece 2 veya 3 boyut kullanılmıştır.

5. İHA güzergah planlaması yaparken uçuş süresi, yakıt, ve mesafe hedeflerinden birine göre optimal uçuşu hesaplayabilmektedir.

6. Simülasyonunda İHA'nın tüm hareketli ve sabit tehditlerin yerini bildiği ve hareketli tehditleri takip edebildiği varsayılmıştır. Ancak, bu varsayımı kaldırıp, İHA'nın sadece belirli bir mesafedeki hedefleri görebildiği şekilde simülasyonlar da çalıştırılmıştır. Dolayısıyla simülasyonumuz her iki durumda da çalışabilmektedir. İHA'nın tüm hareketli ve sabit tehditlerin yerini bildiği ve hareketli tehditleri takip edebildiği varsayımını kullanmamızın sebebi hesaplanan güzergahların optimal olup olmadığını test edebilme kolaylığıdır. Diğer varsayım ile çok fazla sayıda senaryo oluşabileceğinden dolayı optimal çözümün tespiti çok güçleşmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen model ve simülasyon modüler ve genişletilebilir yapıdadır. Ayrıca benzetimlerde gerçekçilik ve sistem gereksinimleri ön planda tutulmuştur.

3. Alan Modeli

Önceki bölümde belirtilen özellikler doğrultusunda bir alan modeli oluşturulmuştur. Alan modeli geliştirilirken bir alan uzmanı ile görüşmeler de icra edilmiştir. Bu alan modeli ise simülasyon tasarımına yön vermiştir. Geliştirdiğimiz alan modelinin simülasyonda hedeflenen modülerliğe ve genişletilebilirliğe yön vermesi hedeflenmiştir. Bundan dolayı problem alanı önce üç ana kavrama bölünmüştür. İlk kavram İHA'dır. Diğer bir kavram ortamdır. Üçüncü önemli kavram ise harici sistemlerdir.

Daha sonra hiyerarşik bir yapı izlenerek bu ana kavramlar içerisindeki kavramlar ortaya konulmuştur. Böylece problem alanımızı böl fethet (divide and conquer) metoduyla daha

anlaşılır ve çalışabilir hale getirmiş oluyoruz. Geliştirilen alan modeli şekil 1'de gösterilmiştir. Alan modeli geliştirilirken yazılımcılar arasında artık oldukça yaygın hale gelmiş UML notasyonu kullanılmıştır.

Modelleme aşamasında oldukça geniş bir literatür taraması yapılarak kavramsal modelde ortaya konan kavramların özellikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu özelliklerden faydalanarak özellikle modellenmesi zor olan kavramlar hakkında modelleme yaklaşımları geliştirilmiştir. Örnek olarak bulut modellemesi yapılırken boyutları değişik olan bulutların modellenmesi için iki yaklaşım geliştirilmiştir. Bulutun genel şekline göre bulut ya silindirik ya da poligonal bir şekil olarak tasarlanmıştır.

3.1. İHA Modeli

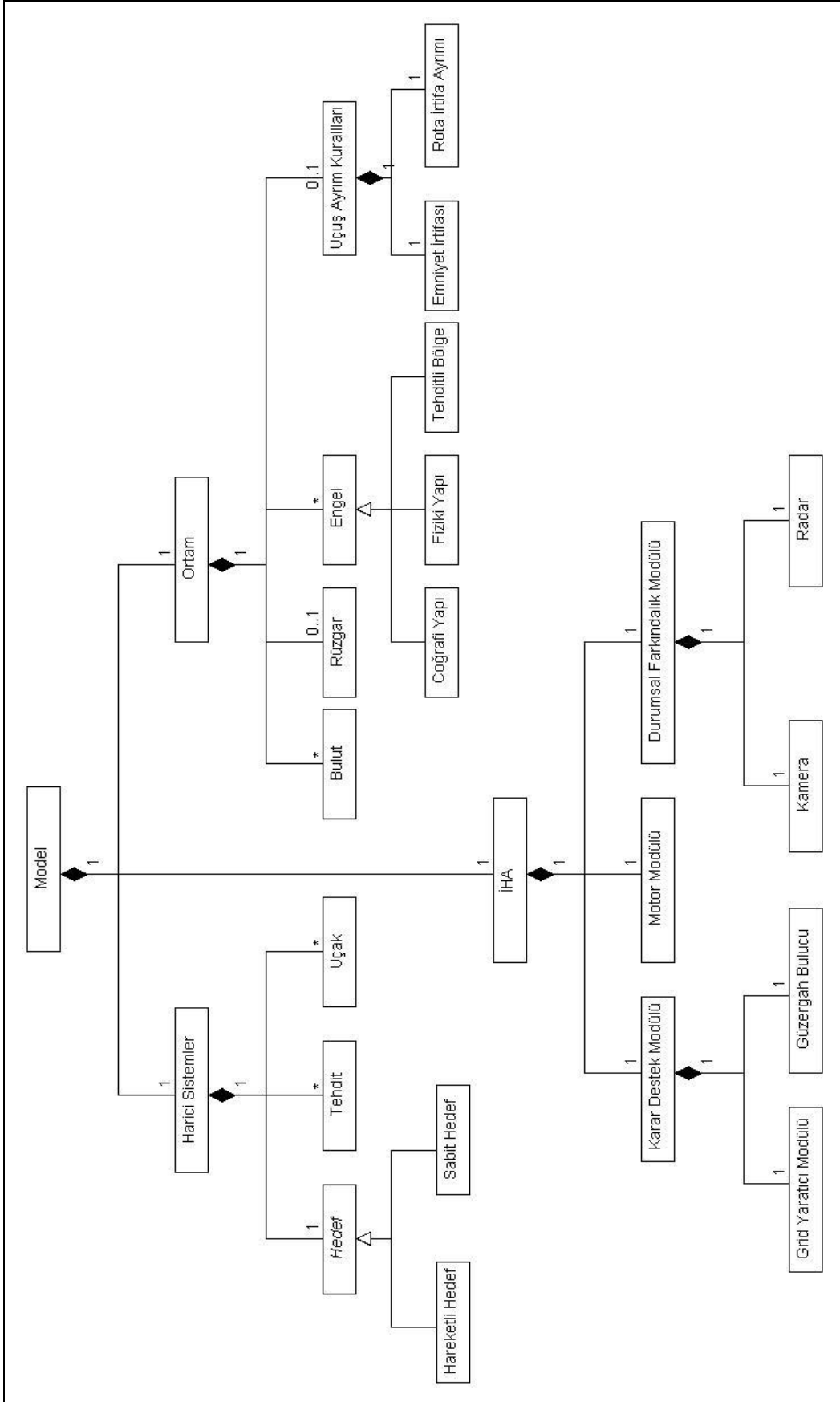
İHA modelimizi geliştirirken orta irtifalarda uçuş ve uzun havada kalış imkanına sahip insansız hava araçları (Medium Altitude Long Endurance Unmanned Aerial Vehicles-MALE UAVs) incelenmiştir. Bu incelenen araçlardan sanal bir İHA'nın modeli tasarlanmıştır. Böylece geliştirdiğimiz model ve simülasyonun benzer birçok İHA'ya uygulanabilir olması hedeflenmiştir. İHA için de bir kavramsal model ortaya konmuş ve simülasyonumuz için önemli olan kavramlar ön plana çıkartılmıştır. Bu kavramlar modüler bir şekilde İHA'mızı oluşturmuştur. Ayrıca değişik simülasyon uygulamaları ve amaçları için İHA modelimiz genişletilebilir bir şekilde düşünülmüştür. Bu şekildeki bir yaklaşım ile gelecekte yapacağımız çalışmalar için bir altyapı hedeflenmiştir. Daha sonra anlatılacak simülasyon geliştirme ortamlarının da seçiminde bu hedeflere destek ve uyum önemli bir karar kriteri olmuştur. Örnek olarak nesneye yönelik programlama ve tasarım ile simülasyonlarımızı geliştirmiş bulunmaktayız. Bu da modülerlik ve genişletilebilirlik hedeflerimize doğal destek sağlamaktadır. Literatürdeki birçok benzer simülasyon çalışmasının matlab ortamı ile gerçekleştirildiği düşünülürse bunun önemi ortaya çıkar. Geliştirilen İHA modeline ait parametrelere ilişkin bilgiler Tablo 2'dedir.

Tablo 2: İHA Temel Özellikleri [4]

Fiziksel Özellikleri			
Uzunluk	30 m	Kanat Genişliği	50 m
Ağırlık	2.500 lb	Yük Kapasitesi	500 lb
Performans Özellikleri			
Havada Kalış Süresi	24 saat	Max/İlerleme Sürati	120 kts, 60 kts
Azami Uçuş İrtifası	30.000ft	Kullanım çapı	200mm
İlerleme Süratinde Yakıt Tüketimi (60 kts - 20000 ft)	29,16 lb/saat	Tımanma Yakıt Tüketimi	48,52 lb/saat
		İniş Yakıt Tüketimi	14,58 lb/saat
Dönüş Çapı	1 mm	Tımanma Sürati	1000ft/dk

İHA kavramsal modelimiz, motor modülü, durumsal farkındalık modülü, karar destek modülü olmak üzere üç parçadan oluşur. Durumsal farkındalık modülü birçok İHA'da bulunan kamera ve radar ünitelerinden oluşmuştur. Karar destek modülü ise grid yaratıcısı ve güzergah bulucu modüllerinden oluşmaktadır.

Bir İHA sisteminin içerisinde çok çeşitli alt sistemler ve parçalar vardır. Ancak bir simülasyonda bunların hepsinin modellenmesine ihtiyaç olmayabilir. Tabii ki burada önemli olan simülasyon hedefleri ve üzerinde inceleme yapılacak



Şekil 1: Kavramsal Alan Modeli.

senaryo çeşitleridir. Örnek olarak yine aynı konuda olan benzer çalışmamızda [1] daha fazla sayıda İHA alt sistemleri modellenmiş ancak ortam modeli daha basit seviyede kalmıştır. [1] ile anlatılan çalışmada İHA alt sistemlerinden iletişim modülü, altimetre, GPS, radar, yakıt ölçer vb. birçok alt sistem çeşitli ayrıntı seviyeleri ile modellenmiştir. Özellikle de iletişim modülü üzerinde çalışılmıştır. Çünkü o çalışmada İHA ile bir gemi arasındaki iletişim ile ilgili hususlar ön plan çıkmaktaydı. [1] çalışması ile bu çalışma arasındaki en önemli farklardan bir tanesi önceki çalışmada modülerlik sadece İHA için ön planda iken bu çalışmada çok daha karmaşık bir ortam ile modülerlik özelliği tüm modele yayılmıştır.

İHA modelinin elemanları olan kavramlar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

Motor Modülü: Modelimizdeki motor bölümü önemli bir kavramdır. Çünkü bazı senaryolarda güzergah planlama en az yakıt kullanılacak yolu bulmaktadır. Motor bölümündeki yakıt hesaplaması için literatür taraması yapılmış ve mümkün olduğunca gerçekçi modeller kullanılmaya çalışılmıştır.

Durumsal Farkındalık Modülü: Bu modülün amacı İHA'ya çevresindeki nesnelere hakkında bilgi sağlamaktır. Bu modülün altında İHA'ya görüntü sağlayan kamera ve çevresindeki nesnelere bildiren radar vardır. Modelde, tasarımda, ve simülasyon uygulamasında bu iki kavram bulunmasına rağmen birçok senaryoda bu alt sistemleri etkin hale getirmedik ve ayrıntılı incelemeleri gelecek çalışmalarımıza bıraktık. Bunun sebebi bildirinin problem tanımı bölümünde açıklanmıştır.

Karar Destek Modülü: Bu modülün amacı İHA'ya otonomluk sağlamaktır. Günümüzde birçok İHA uzaktan kumandalı olarak ya da yarı otonom olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmaların birçoğu da İHA'ların otonomluk seviyesini artırmak üzerinedir. Bizim çalışmamızda da karar destek modülü çok önemli bir yer teşkil etmekte ve üzerinde en fazla çalışma yaptığımız parçalardan bir tanesidir. Bu modülün altında grid yaratıcı modülü ve güzergah bulucu bulunmaktadır. Grid yaratıcı modül, İHA'nın içinde bulunduğu operasyon ortamındaki hareket edebileceği uzayı yaratır. Bu uzayın İHA tarafından yaratılmasının sebeplerinden bir tanesi operasyon ortamına İHA bakış açısıyla bakılabilmesini sağlamaktır. Dolayısıyla İHA elindeki bilgiler oranında bu uzayı yaratır. Eksik bilgi varsa uzay da bu eksik bilgiye göre yaratılır. Güzergah bulucu yaratılan uzayda İHA'yı ulaşması gereken noktaya götürür. Bunların ayrı kavramlar olarak ortaya konması gerek uzayın yaratılması gerek de güzergah bulma algoritmalarının birbirinden bağımsız olarak çalışmasına olanak verir. Böylece değişik güzergah bulma algoritmaları esneklikle uygulanabilir.

3.2. Ortam Modeli

İHA'nın içinde bulunduğu ortama ait kavramlar, ortam kavramsal modelinin içinde yer almıştır. Tabii ki bu ortam modeli simülasyon hedeflerine uygun olarak genişletilebilir. Bizim simülasyon hedeflerimiz için bulutlar, engeller, meteorolojik şartlar ve uçuş ayırım kuralları kavramları modellenmiştir.

Ortam modelinin elemanları olan kavramlar aşağıdaki şekilde modellenmiştir:

Engel: Engeller operasyonel ortamda İHA'nın içine girmeden etrafından dolaşacağı yapılarıdır. Kavramsal modelimizde üç çeşit engel vardır. Bunlardan ilki coğrafi yapıdır. Dağ, vadi gibi yeryüzeyi şekilleri coğrafi yapıyı oluşturmaktadır. Bu simülasyon uygulamasında gerçek eşyükselti eğrilerinin olduğu sayısal haritalardan 3 boyutlu olarak alınmaktadır. Diğer bir engel fiziki yapıdır. Bunlar da İHA'nın operasyonel ortamındaki insan yapısı mimari yapılar olarak düşünülmüştür. Fiziki engeller mimari yapı özelliklerine bağlı olarak ya konik ya da kübik olarak modellenmiştir. Bir diğer engel aslında fiziki bir engel olmaktan ziyade sanal bir engeldir. Bu da tehditli bölge olup insansız hava aracının uçuşunu ya da görevin etkinlikle icrasını engelleyebilecek her türlü unsuru kapsamaktadır. İHA'nın kesinlikle girmesini istemediğimiz tehditli bölgeler de aynen bir fiziki engel gibi modellenmiştir. Örnek vermek gerekirse tehditli bölge İHA'mıza düşürebilecek bir füze sistemi olarak düşünülebilir. Böylece İHA'nın bu füze sisteminin menziline girmemesi sağlanır. Tehditli bölge küresel olarak modellenmiştir.

Uçuş Ayırım Kuralları: Havacılıkta emniyetli uçuşu sağlamak için uçuş ayırım kuralları konmuştur. Uçakların ve gelecekte İHA'ların (Günümüzde İHA'ların uçuş trafik hatlarında uçuşuna izin verilmemektedir.) bu kurallara uygun olarak uçuşu istenmektedir. Uçuş ayırım kurallarının en temel kurallarından iki tanesi rota ve irtifa ayırımıdır. Bu kural kapsamında rotası 0° ile 179° arasında olan uçan araçların tek sayı ile başlayan irtifalarda (Ör. 1000ft, 3000ft, 5000ft..); rotası 180° ile 359° arasında olanların ise çift sayı ile başlayan irtifalarda (e.g. 2000, 4000, 6000ft ...) uçuşuna izin verilmektedir. Bununla beraber İHA'nın emniyetli uçuşunu sağlamak için altına inmesini istemediğimiz bir irtifa vardır. Geliştirdiğimiz sanal İHA modeli için emniyet irtifasının 5000 ft. olması tasarlanmıştır. Simülasyon uygulamasında emniyet irtifası bir parametre olarak simülasyon ihtiyacına göre istenen değerde değiştirilebilir.

Rüzgar: Rüzgar İHA'nın süratini etkilemektedir. İHA'nın uçuş rotası ile rüzgar yönü arasındaki açıya bağlı olarak matematiksel modelimize göre İHA'nın sürati değişmektedir. Rüzgar kavramı basittir ancak istenen gerçekçiliğe bağlı olarak simülasyon uygulama işlem süresinde çok ciddi maliyet oluşturmaktadır. Hesaplama zamanını önemli ölçüde arttırabilmektedir.

Bulut: Bulut diğer benzer birçok İHA simülasyonunda bulunmayan bir kavram olup, bizim simülasyonumuzda mevcuttur. Bulut simülasyon amaçlarına bağlı olarak bir engel olarak da düşünülebilir ve İHA bulutların içine hiç girmeyebilir. Ancak simülasyonumuzda bulutlar İHA'nın içinden geçebileceği bir meteorolojik olgudur. Bulutun rolü İHA hedefe yaklaştığı zaman ortaya çıkmaktadır. İHA operasyonlarındaki temel görevlerden bir tanesi olan keşif görevidir. İHA'nın hedeften görüntü alması istendiği durumlarda bulut hedefin üzerinde ise görüntü alınmasını ya engelleyecek ya da görüntü alınmasının efektifliğini azaltacaktır. Dolayısıyla ilgili simülasyon senaryolarında eğer hedefin üzerinde bulut varsa İHA bulutun altına inmektedir.

3.3. Harici Sistemler Modeli

İHA'nın içinde bulunduğu operasyonel ortamda doğal olarak kendisinden başka sistemler de bulunabilir. Bunların en başında uçaklar ve diğer insansız hava araçları vardır. Kavramsal modelimizden de anlaşıldığı üzere gerek uçak ve benzeri sistemlerden gerek de tehditlerden "*" (UML notasyonunda "*" 0 ile n arasında bir sayıya karşılık gelen adet anlamına demektir.) kadar bulunabilir. Bu da bize İHA'nın bulunduğu operasyonel ortamı istediğimiz gibi şekillendirmemizi sağlar. Bunun yanında gerek askeri gerek de sivil maksatlar için kullanılabilen İHA'ların simülasyonuna olanak sağlayarak bize esneklik özelliği kazandırır.

Harici sistemler modelinin elemanları olan kavramlar aşağıdaki şekilde modellenmiştir:

Hedef: Simülasyonumuzdaki en temel kavramlardan bir tanesi ve harici sistemler modelimizin bir parçası hedefdir. Hedef İHA'nın ulaşması gereken noktadır. Burada gene esneklik ön planda tutulmuş ve hedef hem hareketli hem de sabit olarak düşünülmüştür. Hedef sabit olduğu zaman problem, İHA'nın A noktasından B noktası arası çok kriterli ve tahditli bir ortamda güzergah bulma problemi olur. Hareketli olduğu zaman ise problem gene çok kriterli ve tahditli bir ortamda belli bir hedefi takip etme ve bu hareketli hedefin bulunduğu noktaya gitme probleminde dönüşür. Hareketli ve sabit hedefler simülasyonda senaryoya göre istenen mevkiye yerleştirilebilmekte ve hareketli hedeflere rota ve sürat tanımlanabilmektedir.

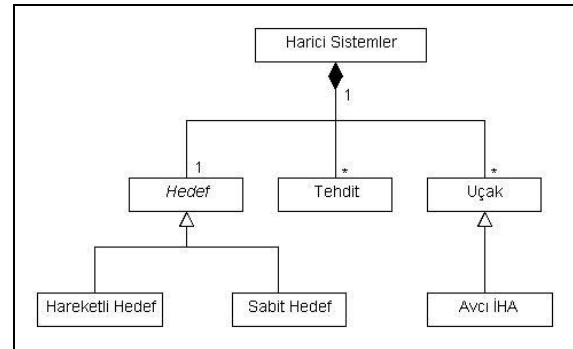
Tehdit: Özellikle günümüzde insansız hava araçlarının askeri maksatlar için kullanıldığını düşünürsek İHA'yı etkisiz kılmaya çalışabilecek tehditler de bu operasyonel ortamın bir parçası olarak düşünülebilir. Aynı şekilde sivil maksatlar için kullanılabilen meteorolojik balonlar vb. unsurlar da İHA için bir tehdit oluşturabilir. Ortam modelinin bir parçası olan tehditli bölge özelliklerine benzeyip tehdit kavramı yerde hareketli tehditler olarak düşünülmüştür. Tehditli bölge ise statik bir kavramdır. Tehdit ve tehditli bölge gibi iki farklı kavram ortaya konmasının sebebi bu kavramların özelliklerinin simülasyon ihtiyaçlarına göre değiştirilebilmesidir. Bu şekilde gelecekteki çalışmalarda kullanılabileceğimiz ve daha karmaşık davranışlar tanımlayabileceğimiz bir tehdit kavramı simülasyonumuza genişletilebilirlik ve esneklik sağlamaktadır.

Uçak: İHA'nın bulunduğu operasyonel ortamda uçak ve diğer insansız hava araçları bulunabilir. Günümüzde İHA operasyonlarının yapıldığı ortamlarda diğer uçuş nesnelere izin verilmemektedir ancak ileride buna izin verilebilir. Dolayısıyla simülasyonumuzda hem günümüzde için hem de gelecekte olabilecek senaryolar için analizler yapılabilir. Uçaklar, helikopterler ve diğer uçuş sistemleri arasında halihazırda bir fark ortaya konmamıştır. Çünkü simülasyon maksatlarımız için benzer sistemler aynı özelliklere sahiptir. Ancak bu farklar rahatlıkla ortaya konup model ve simülasyon daha da çeşitlendirilebilir. Uçaklar havada uçan ve etrafında bir emniyet mesafesi bulunan silindirik yapılar olarak modellenmiştir. Uçaklara rota, irtifa ve emniyet mesafesi gibi parametreler atanabilir.

Çalışmamızın hedeflerinden bir tanesinin de simülasyonda modülerlik ve genişletilebilirlik olduğu belirtilmiştir.

Özellikle kavramsal modelde buna şu şekilde örnek verilebilir. Modelimizdeki kavramlardan olan uçak kavramından avcı bir İHA kavramı türetebiliriz. Bu avcı ile normal bir uçak veya İHA ile aynı özellikleri paylaşmakla beraber amacı modeldeki ana insansız hava aracını takip etmek ve gerekirse etkisiz kılmak ile görevlendirilebilir. Hatta bu kavrama ana İHA modelindeki radar, kamera gibi parçalara ait kavramlar da eklenebilir. Şekil 2'de bu yeni model gösterilmiştir.

Çeşitli örneklerle belirtildiği üzere modelimiz tasarımında modülerliğe, genişletilebilirliğe ve esnekliğe özel bir önem verilmiştir. Sadece günümüz senaryolarının simülasyonu için değil gelecekte ortaya çıkabilecek senaryolara uygulamaya desteği sağlayabilecek bir kavramsal model ortaya konmuştur.



Şekil 2. Harici Sistemler Modelinin Genişletilmiş Durumu.

Geliştirilen kavramsal modeldeki kavramların matematiksel modelleri ve özellikle karar destek modülünün nasıl çalıştığına ilişkin algoritma ve ayrıntılar bu çalışma ile ilintili [4] çalışmasında geniş olarak anlatılmıştır. Geliştirilen simülasyonda İHA'nın dönüş yarıçapı gibi çeşitli aerodinamik özellikler de modellenmiştir. [4]

4. Tasarım

Bu aşamada kavramsal modelde ortaya çıkan kavramların tasarımı yapılmıştır. Doğal olarak tasarım geliştirme ile kavramsal model geliştirme safhaları dönüşümlü olarak icra edilmiştir. Böylece tasarım esnasında elde edilen bulgulara istaneden kavramsal model geliştirilmiş ve güncellenmiştir. Buna bağlı gelişmeler ise tasarıma yansıtılmıştır.

Özellikle kavramsal modelde ortaya konan hiyerarşik modüler yapının faydaları tasarım esnasında ve daha sonra simülasyon uygulaması geliştirme esnasında görülmüştür ve geliştirme zamanını beklendiği gibi hızlı olmuştur.

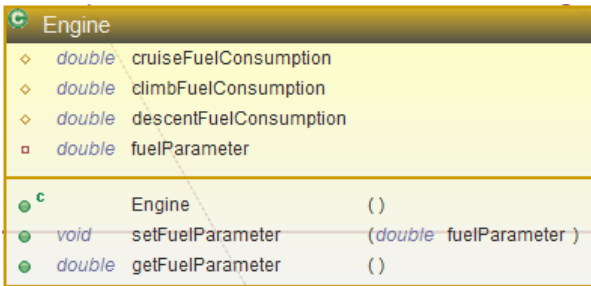
Günümüzde nesneye yönelik tasarımın faydaları artık ispatlanmış durumdadır. Modülerlik, genişletilebilirlik gibi özelliklere ulaşmamızda kolaylık sağlamıştır. İHA üzerinde yapılan akademik simülasyon çalışmalarının birçoğunda nesneye yönelik tasarım kullanılmamakta ve uygulamalar da matlab gibi ortamlarda geliştirilmektedir. Bu da çalışmaların başkaları tarafından kullanılmasında ve genişletilmesinde güçlükler oluşturmaktadır. Ayrıca bu çalışmaların çoğunda simülasyon tasarımından ziyade uygulamaya öncelik verilmektedir ve simülasyon senaryoları çok spesifik amaçlara hizmet etmektedir. Bizim çalışmamızda tasarıma ayrı bir önem verilmiştir. Çalışmanın gelecekte

geniştirilebilir ve başkaları tarafından da kullanılabilir olması hedeflenmiştir. Daha önceden de belirtildiği gibi bu çalışma sonraki çalışmalara da bir altyapı sağlaması istenmiştir.

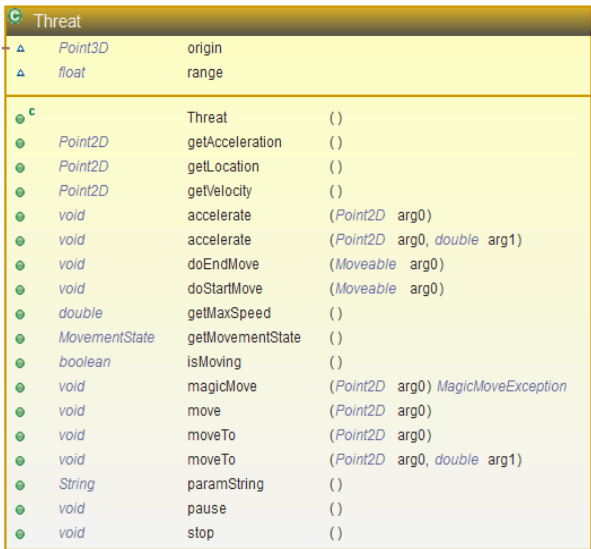
Tasarım esnasında bir sonraki aşamada icra edilecek olan simülasyon uygulamasını geliştireceğimiz ortam seçilmiştir. Çünkü daha önceki çalışmalarda tecrübelerimiz göstermiştir ki simülasyon geliştirme ortamı seçiminin de tasarıma çeşitli etkileri olabilir. Simülasyon uygulamasını geliştirmek için Simkit [2,3] isimli bir simülasyon geliştirme aracı kullanılmıştır. Simkitin simülasyonlar için hazır olarak sunduğu çeşitli fonksiyonlar vardır. Bu simülasyonun çalıştırılması ile ilgili tasarım hususlarından ziyade direk simülasyonun tasarımına yoğunlaşmamıza olanak sağlamıştır.

Tüm simülasyon tasarımını bir bildirinin kapsamına sığdırmak mümkün değildir. Ancak burada kavramsal modeldeki bazı kavramları nasıl tasarladığımızı gösterilecektir.

Aşağıda diğer sınıflara göre oldukça basit olan motor bölümünün sınıf diyagramı verilmiştir. Burada motorun özelliklerine göre İHA'nın yakıt tüketimi hesaplanmaktadır.



Modelimizdeki diğer kavramlardan biri olan tehdit sınıfı aşağıda verilmiştir. Tehdit sınıfındaki metodlar sayesinde simülasyondaki tehditlere davranış tanımlamak mümkün olmaktadır.

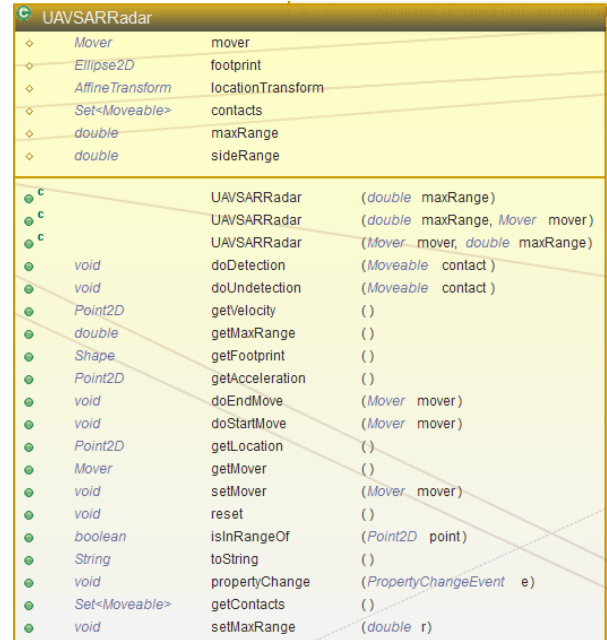


Yazılım geliştirmede kavramsal modelin ve tasarımın önemi büyüktür. Yazılım geliştirirken genellikle kavramsal modeldeki kavramlar tasarımda karşımıza bir sınıf olarak çıkmaktadır. Ancak bazen kavramsal modeldeki kavramlar öneminden dolayı özellikle vurgulanır ancak tasarımda

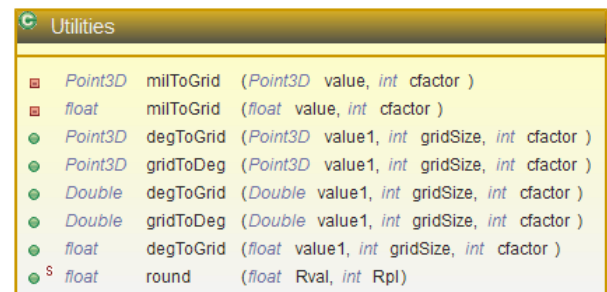
uygulamaları nispeten basit olabilir. Bunun örneklerinden bir tanesi uçuş ayırım kuralları kavramında görülmektedir. Kavramsal modelde uçuş ayırım kurallarına bağlı emniyet irtifası ve rota-ayırım irtifası kavramı mevcuttur. Çünkü bu kavramlar bizim için oldukça önemlidir. Ancak aşağıda verilen sınıf diyagramında bu kavramlar bir sınıf olmaktan ziyade uçuş ayırım kurallarının bir özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır.



İHA'nın alt sistemlerinden biri olan radarın sınıf diyagramı aşağıdadır:



Bunlarla beraber kavramsal modelimizde olmayan ancak tasarımda ihtiyacımız olan yardımcı sınıflar da tasarlanmıştır. Bunlardan bir tanesi çeşitli dönüşümleri yapan gereçler sınıfıdır.



Diğer bir sınıf çok çözünürlük sınıfıdır. Bu sınıf ile simülasyonumuzda senaryo ihtiyaçlarına bağlı olarak bazı

kısımlarda İHA çok hassas olarak ilerleyebilmektedir. İHA operasyon uzayını ihtiyacına göre çok çözünürlüklü olarak yaratabilmektedir. Bu sınıf simülasyona esneklik ve değişik senaryolara genişletilebilir özelliğine yardımcı olmaktadır. Ayrıca simülasyon uygulamasında değişik bellek ve işlemci kullanımına göre simülasyonlarımızı hassaslaştırabilmekte ve işlem süresini azaltabilmekteyiz.

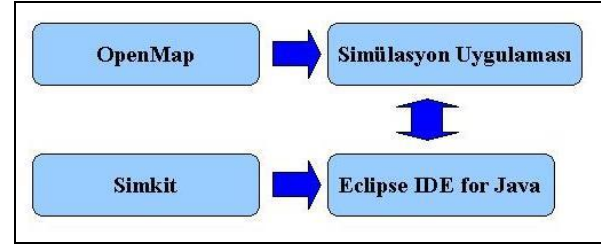
MultiResolution	
Region	region
int	z
int	rs
int	regionNumber
Point3D	regionSize
Methods	
void	createRegion (Grid grid2, int regionNum)
boolean	isFreeRegion (Region regionN, Grid grid2)
boolean	isNodeInFreeRegion (Grid grid, Node node)
Point3D	getRegionOrigin (Node node)

5. Simülasyon Uygulaması

Simülasyon uygulaması için çeşitli geliştirme ortamı ve araçlar kullanılmıştır. Araştırma hedeflerimizi destekleyecek ve simülasyon gerçekleştirilmesinde kolaylık sağlayacak en uygun araçların seçimi için literatür taranmış ve incelemeler yapılmıştır. Programlama dili olarak Java seçilmiştir. Javanın giderek artan popülerliği, açık kaynak olarak geliştirilen kütüphanelerin (paketlerin) fazlalığı ve en önemlisi nesneye yönelik tasarıma destek veren nesneye yönelik bir programlama dili olması seçimimizde etkili olmuştur. Araştırma esnasındaki tecrübelerimiz bu seçimin uygunluğunu göstermektedir. Java editörü olarak açık kaynaklı, yaygın kullanıma erişmiş Eclipse geliştirme ortamı kullanılmıştır. Simülasyon geliştirme aracı olarak da Simkit [2,3] kullanılmıştır. Simkit A.B.D.'de Naval Postgraduate School'da geliştirilmiş ayrık olay simülasyonu modelleri yaratmaya yarayan ücretsiz bir Java paketidir. Simülasyon geliştirme aracı ile kullandığımız programlama dilinin aynı olması entegrasyonu oldukça kolaylaştırmıştır. Simülasyonlarda kullandığımız dijital harita verileri elde etmek için de OpenMap [5] kullanılmıştır. OpenMap Java Beans tabanlı coğrafik bilgiye ihtiyaç duyulan yazılım ve uygulamalara veri sağlayan bir programcı araç kitidir. OpenMap ücretsiz ve açık kaynak kodludur.

Özellikle seçilen araçların ve ortamların ücretsiz ve açık kaynak kodlu olmasına dikkat edilmiştir. Bilimsel araştırmalarda, araştırmanın tekrar edilebilirliği önemli bir kriterdir. Ticari yazılımlar kullanılması ve lisans kısıtlamaları bilhassa araştırma fonu kısıtlı araştırmacıların araştırmayı tekrar edebilmesine belirli seviyede engel teşkil etmektedir. Araştırmamızın gelecekte de rahatlıkla kullanılabilmesi ve başka araştırmacıların da üzerinde çalışabilmelerini kolaylaştırmak amacıyla böyle bir yaklaşım tercih edilmiştir. Sonuç olarak geliştirdiğimiz simülasyon tamamen ücretsiz yazılımlarla geliştirilmiştir. Simülasyon geliştirme ortamının genel mimarisi şekil 3'de verilmiştir.

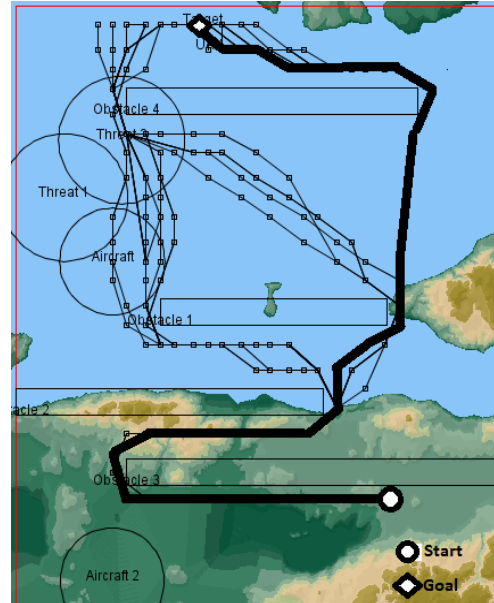
Bir önceki aşamada geliştirdiğimiz modüler tasarım, simülasyon uygulamasının kodlanmasını kolaylaştırmıştır. Kavramsal modelimizdeki kavramlarımız birbirlerinden bağımsız olarak tasarlanabilmiş ve kodlanabilmiştir.



Şekil 3: Simülasyon Geliştirme Ortamı Genel Mimarisi

Doğal olarak karmaşık olan problemimizi böl fethet metoduyla başa çıkılabilir hale getirmiş bulunmaktayız. Bunların yanında gerek tasarımda gerek kodlamada düşük bağıllık (low coupling) ve yüksek tutarlılık (high cohesion) prensiplerine dikkat edilmeye çalışılmıştır. Örnek olarak geliştirdiğimiz simülasyondaki motor ya da uçuş ayırım kuralları sınıfları ve kodlamaları Java kullanılan başka simülasyonlarda da kullanılabilir. Simülasyon uygulamasında İHA ortamdaki engel ve tehditlerden sakınabilmektedir. Sabit bir mevkiye gidebilmekte veya hareketli bir hedefi takip edip ona ulaşmaya çalışmaktadır. Bu hedefe giderken mesafeyi, süreyi ya da yakıt tüketimini minimuma indirecek şekilde optimal çözümü (varsa) bulabilmektedir. Bununla beraber ortamdaki harici sistemlerin hareketlerini tahmin edip 4 boyutlu uzayda (x,y,z ve zaman) emniyetli rotalar planlayabilmektedir. Bu özellikleriyle benzer birçok akademik çalışmadan daha ileri bir seviyededir.

Üzerinde çalıştığımız senaryolardan birine ait ekran görüntüsü şekil 4'te verilmiştir. Araştırmamızda bu noktada özellikle çok kriterli bir ortamda yani uçakların, tehditlerin, engellerin bulunduğu ortamlarda İHA'mızın çeşitli görev hedeflerine göre yani mesafeyi süreyi ya da yakıt tüketimini optimal kılacak şekilde hedefine ulaşması senaryoları üzerinde çalışılmaktadır.



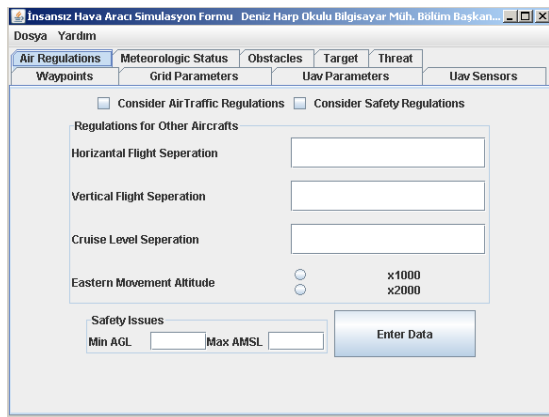
Şekil 4: Simülasyon Çalışmasına İlişkin Ekran Görüntüsü

6. Sonuçlar ve Sonraki Çalışmalar

Bu çalışmada amacımız modüler ve genişletilebilir bir İHA simülasyon tasarımı geliştirmektir. Ayrıca modellediğimiz İHA'nın kategorisindeki birçok İHA'yı simüle edebilmesi ve çok farklı operasyonel ortamlara ait senaryoları analiz edebilmeye olanak sağlayacak altyapıya sahip olunması hedeflendi. Araştırmada geldiğimiz noktada, elde edilen tasarım, çalıştığımız senaryolardan çok daha fazla çeşit senaryoları ya hiçbir ek kodlamaya ihtiyaç duymadan ya da az bir kodlama ihtiyacı ile destekleyebilecek seviyededir. Buna iyi bir kavramsal model geliştirilmesi ve nesneye yönelik kaliteli bir tasarımla ulaştığımızı değerlendirmekteyiz.

Bu çalışmada literatürdeki birçok akademik çalışmadan farklı olarak matlab ile matematiksel modellere dayalı simülasyon geliştirilmesi yerine nesneye yönelik tasarımla Java kullanılarak modüler ve genişletilebilir bir simülasyon uygulaması üzerinde durulmuştur.

Şu anda simülasyonumuz Eclipse IDE içerisinde çalışmaktadır. Gelecekteki hedefimiz bu simülasyonunun İHA operatörleri tarafından görev planlamasında kullanılmasına da olanak vermesini sağlayabilmektir. Bunun için yine Java ile bir simülasyon arayüzü geliştirmiş bulunmaktayız. Arayüz geliştirilirken de modülerlik ön planda tutulmuş ve simülasyon uygulamasından bağımsız bir şekilde geliştirilmiştir. Ancak halihazırda simülasyonumuz bu arayüz ile entegre edilmemiştir. Bundan sonra entegrasyon çalışmaları da icra edilecektir. Bu arayüze ilişkin ekran görüntüsü şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: Arayüz Uygulaması Ekran Görüntüsü

Gelecekteki çalışmalarımızda daha önceden örnek verilen avcı İHA kavramı simülasyonumuza tanıtılarak farklı senaryolar denenmesi üzerine çalışılacaktır. Ayrıca İHA tasarımı ve uygulamamıza daha başka alt sistemlerin ve sensörlerin de eklenmesine çalışılacaktır. Bunlarla beraber İHA'nın güvenilirlik, güvenlik ve hataya dayanıklılık analizlerinin yapılabilmesine olanak verecek modüller ve kavramlar da eklenebilecektir. Bunları sağlayabilmesi için de tasarıma hata enjektisi için modüller eklenecektir.

7. Açıklamalar

Bu bildirin kapsamında olan direk veya dolaylı tüm fikir, yorum ve görüşler yazarların şahsi fikirleri olup, bağlı oldukları hiçbir kurumun direk veya dolaylı olarak resmi veya gayri resmi hiçbir görüşünü temsil etmezler. Bağlı oldukları kurumlar bu bildirden doğan her türlü sorumluluktan muafırlar.

8. Kaynakça

- [1] Demir, K.A., Erten, S., Dönmez, E., Cicibaş, H., "İnsansız Hava Araçlarının Operasyonel Ortamda Modellenmesi ve Simülasyonu", 2. Yazılım Kalitesi ve Yazılım Geliştirme Araçları Sempozyumu, İstanbul 3-4 Aralık 2010.
- [2] Simkit (<http://diana.nps.edu/Simkit/>), Erişim Tarihi: 15 Haziran 2011
- [3] Buss A.H. Basic Event Graph Modeling. Technical Notes, Simulation News Europe, April 2001.
- [4] Cicibaş, H., Demir, K.A., Arıca, N., "İnsansız Hava Araçları İçin Çok Kriterli Güzergah Planlama", 4. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, USMOS 2011, 14-15 Haziran 2011, Ankara, Türkiye.
- [5] OpenMapTM, BBN Technologies, <http://openmap.bbn.com>. Erişim Tarihi: 15 Haziran 2011
- [6] P. Wu, P.Y. Campbell, A. Duncan, T. Merz, "On-board multiobjective mission planning for unmanned aerial vehicles", In IEEE Aerospace Conference Montana, 2009
- [7] Z. Qi, Z. Shao, Y. S. Ping, L. M. Hiot, Y. K. Leong, "An Improved Heuristic Algorithm for UAV Path Planning in 3D Environment", Second International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, 2010
- [8] I. K. Nikolos, K. P. Valavanis, N. C. Tsoveloudis and A. N. Kostaras, "Evolutionary algorithm based offline/online path planner for UAV navigation," IEEE Trans. Systems, Man Cybernetics, vol 33, pt. B, pp. 898-912, Dec. 2003
- [9] LiXia, XieJun, Cai Manyi, XieMing, Wang Zhike, "Path Planning for UAV Based on Improved Heuristic A* Algorithm", The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments, 2009
- [10] H. Helble and S. Cameron, "3D path planning and target trajectory prediction for the oxford aerial tracking system," in IEEE International Conference on Robotics and Automation, April 2007, pp. 1042-1048.
- [11] Jose J. Ruz, Orlando Arevalo, Gonzalo Pajares and Jesus M. de la Cruz, UAV Trajectory Planning for Static and Dynamic Environments, Aerial Vehicles, ISBN: 978-953-7619-41-1
- [12] Perhinschi, M. G., Napolitano, M. R., Tamayo, S., & Campus, E. "Integrated Simulation Environment For Unmanned Autonomous Systems-Towards A Conceptual Framework". Journal of Modelling and Simulation in Engineering. 2010