

YER GÖZLEM VE KEŞİF UYDULARINDA KOMUTA VE KONTROL SİSTEMİ

Mehmet Efe ÇAKIR ¹ TUSAŞ, Ankara	Berkin FENLİ ² TUSAŞ, Ankara	Halime SÜRMELİ ³ TUSAŞ, Ankara	Mustafa Tayfun CUMHUR ⁴ TUSAŞ, Ankara
---	---	---	--

ÖZET

Bu çalışma ile alçak irtifa yörüngesinde bulunan bir yer gözlem uydusunun Yer İstasyonunda komuta ve kontrolünü sağlamaktan sorumlu sistemin sistem mühendisliği bakış açısıyla incelenmesi amaçlanmaktadır. Komuta ve Kontrol Sistemi yazılım birimleri, TUSAŞ tarafından milli olarak geliştirilmektedir. Komuta Kontrol yazılımlarının gelecekteki ihtiyaçları da karşılayabilecek şekilde milli imkanlarla geliştirilmesi, dışa bağımlılığın azalması açısından önem arz etmektedir. TUSAŞ'ın yer aldığı projelerde elde edilen kazanımlar kullanılarak sistem içerisinde bulunan alt sistemler, birimler ve görevleri açıklanacak ve sistemin işleyişine dair bilgiler verilecektir.

GİRİŞ

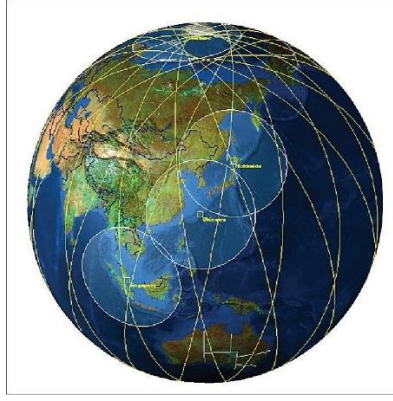
Günümüzde yer gözlem ve keşif uyduları, uzaktan algılama uygulamaları için en çok tercih edilen çözümler arasında yer almaktadır. Bu uyduların Alçak İrtifa Yörüngesine (LEO) yerleştirilmesi ile Uydunun görev ömrü boyunca Dünya üzerinden belirli aralıklarla veri toplamak mümkün olmaktadır (Şekil 1). Uyduların Dünyanın hangi bölgesinden, nasıl ve ne zaman veri algılayacağı, yer istasyonlarında oluşturulan görev planları ile tanımlanır. Bu planlar Uyduya yüklenir ve uydunun yüklenen planları işletmesi ile görev gerçekleştirilir. Uydu yörüngede görevini icra ederken uydu sağlığı ile ilgili ölçüm verilerinin yer istasyonu haberleşme konisine girildiği zamanlarda yer istasyonuna indirilmesi, bu verilerin izlenmesi ve görev planlama sırasında uydunun güncel sağlık durumunun göz önünde tutulması gerekmektedir. Kısaca bahsedilen tüm bu kritik işlevler yer istasyonunda bulunan Komuta ve Kontrol Alt Sistemi tarafından yerine getirilir.

¹ Yer Sistemleri Sistem Mühendisi, E-posta: mehmetefe.cakir@tai.com.tr

² Yer Sistemleri Sistem Mühendisi, E-posta: bfenli@tai.com.tr

³ Yer Sistemleri Sistem Mühendisi, E-posta: hurek@tai.com.tr

⁴ Yer Sistemleri Şefi, E-posta: tcumhur@tai.com.tr



Şekil 1: Uydu Yörünge ve İletişim Konisi Örneği (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/asnaro>)

YÖNTEM

TUSAŞ'ın içinde bulunduğu projeler göz önünde bulundurularak, bu projelerde yer alan sistemler açıklanacaktır. Projeler mimari olarak benzer yapıda olduğu için alt sistemler ve birimler belirli başlıklar altında toplanarak anlatılacaktır.

UYGULAMALAR

Yer Kesimi, uydunun komuta kontrol edilmesini, görevlendirilmesini, görüntülerin çekilmesini, uydu tarafından alınan görüntülerin uydudan indirilmesini ve indirilen görüntü verilerinin işlenip kullanıcıya iletilmesini sağlamaktadır. Yer Kesimi 4 alt sistemden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla Komuta ve Kontrol, Ağ ve Destek Hizmetleri, Kullanıcı ve Uydu Erişim Alt Sistemleridir (Şekil-2). Kullanıcı Alt Sistemi, görüntü isteklerinin alınması ve uydu tarafından alınan görüntülerin işlenip kullanıcıya iletilmesinden sorumludur.

Ağ ve Destek Hizmetleri Alt Sistemi, yer kesimindeki alt sistemlerin kendi birimleri arasındaki ve alt sistemler arası ağ ve bilişim işlevlerini sağlamaktan sorumludur.

Uydu Erişim Alt Sistemi, temel bant birimleri ve RF ekipmanlarını içeren yer kesiminin uydu ile haberleşmesini sağlamaktan sorumludur.

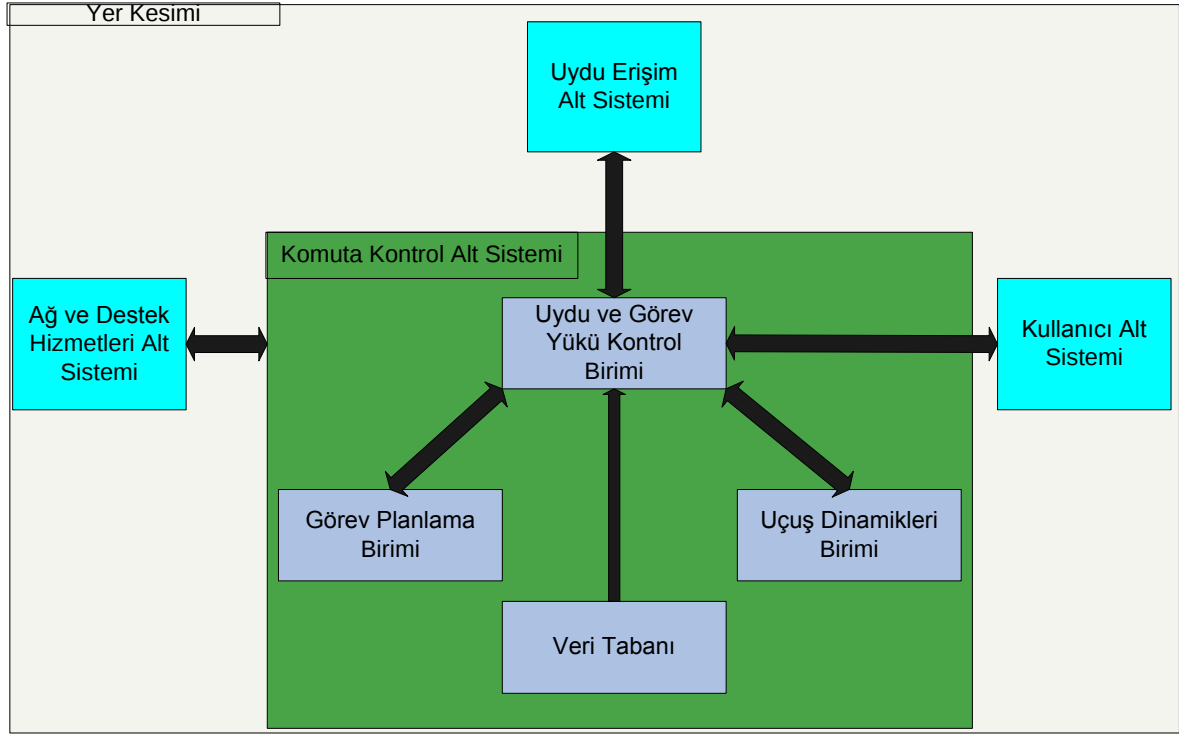
Komuta ve Kontrol Alt Sistemi, uydunun komuta kontrol edilmesini, görevlendirilmesini ve uydunun sağlık durumunun gözlemlenmesini sağlamaktan sorumludur.

Komuta ve Kontrol Alt Sistemi aşağıda verilen dört ana birimden oluşmaktadır. Komuta ve Kontrol Alt Sistemi yazılım birimleri TUSAŞ tarafından milli olarak geliştirilmektedir. Komuta kontrol yazılımlarının gelecekteki ihtiyaçları da karşılayabilecek şekilde geliştirilmesi planlanmıştır.

Komuta ve Kontrol Alt Sistemi yazılım birimleri servis tabanlı bir mimariye sahiptir. Güncel yazılım mühendisliği ve yazılım mimarisi yaklaşımlarına ek olarak uzay alanında kabul edilen endüstri standartlarının kullanımı tercih edilmiştir. Bu şekilde tamamı milli imkanlarla geliştirilen, kolay adapte edilebilir ve gelecekte birden fazla uyduyu kontrol edebilecek bir komuta kontrol sistemi altyapısı geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Komuta ve Kontrol Alt Sistemi, temel olarak aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır (Şekil-2):

- Uydu ve Görev Yüklü Kontrol Birimi
- Görev Planlama Birimi
- Uçuş Dinamikleri Birimi
- Veri Tabanı



Şekil 2: Yer Kesimi Mimarisi

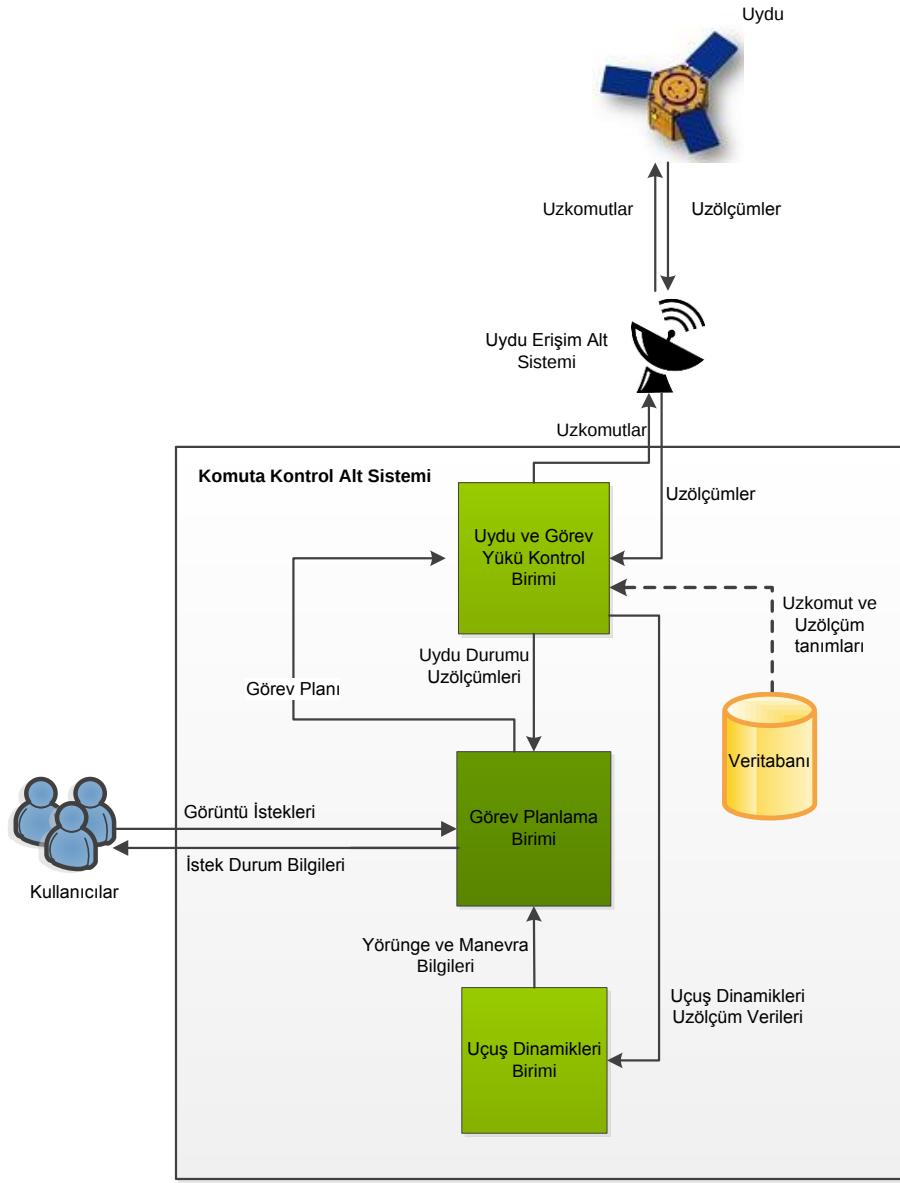
Komuta ve Kontrol Alt Sistemi ve bu alt sistemi oluşturan birimlerin aralarındaki arayüzler Şekil 3'te verilmiştir. Bu arayüzler genel işleyişi özetleyen verilerin aktarılmasını sağlayan arayüzlerdir.

Uydu ve Görev Yüğü Kontrol Birimi

Uydu ve Görev Yüğü Kontrol Birimi, uzkomutların oluşturulması, uyduya uzkomutların gönderilmesi ve uydudan yer istasyonuna indirilen uydu sağlık uzölçüm verilerinin izlenmesinden sorumludur. TUSAŞ tarafından geliştirilen Uydu ve Görev Yüğü Kontrol Birimi yazılımının öne çıkan özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Farklı Uyduların desteklenmesi (uydu spesifik olmaması)
 - XML Telemetric & Command Exchange (XTCE) Uyumlu Uydu Veri Modeli tanımı
- Operatör yükünü azaltan tasarım (servisler, betik, makro vb. desteği)
- Bileşen bazlı ve servis yönelimli mimari
 - Kolay idame edilebilirlik
- Ek özellikler eklemeye ve yeni teknolojileri entegre etmeye elverişlilik

Uydu ve Görev Yüğü Kontrol Birimi'nde uyduya gönderilecek uzkomutlar oluşturulurken veri tabanında bulunan uzkomut tanımları kullanılmaktadır. Uzkomutlar zaman etiketli, anlık veya coğrafi konuma etiketli olarak üretilebilmektedir. Uzkomutlar, uydunun görüntü uzölçüm verisi almasından, uzölçüm kaydetme sıklığının ayarlanmasına kadar birçok amaç için kullanılmaktadır. Uydudan indirilen uydu sağlık uzölçümleri de veri tabanındaki tanımlar kullanılarak Uydu ve Görev Yüğü Kontrol Birimi yazılımı vasıtasıyla anlamlandırılmaktadır. Anlamlandırılma ile kastedilen uydu sağlık uzölçüm verilerinin operatörün anlayabileceği veri formatlarında ekranlarda gösterilmesidir. Böylece operatör uydunun sağlık durumunu Uydu ve Görev Yüğü Kontrol Birimi yazılımının sağladığı ekranlarla izleyebilecektir.



Şekil 3: Yer Kesimi Akışları ve Arayüzleri

Uzkomutlar genellikle şifre veya kripto ile güvenlik altına alınmaktadır. Bu sayede dış kaynakların benzer komutlar göndererek uyduyu komuta etmesi engellenmektedir. Kriptolama veya şifreleme işlemi yapıldıktan sonra güvenliği sağlanmış uzkomutlar bu birimden sırayla temel bant ve RF birimlerine oradan da anten vasıtasıyla uyduya gönderilmekte aynı şekilde uydudan indirilen uzölçümler de şifreli veya şifresiz olarak da indirilebilmektedir (Şekil 3). İndirilen uzölçümler şifreli ise şifresi çözülüp işlendikten sonra ilgili veriler diğer alt sistemlere/birimlere dağıtılmaktadır.

Görev Planlama Birimi

Görev Planlama Birimi uydunun ne zaman görüntü verisi alacağı, bu görüntü verisinin ne zaman ve hangi yer istasyonuna indirileceği bilgilerini hesaplar ve göreve yönelik zaman çizelgesini oluşturarak görevi planlar. Görev Planlama Birimi kapsamında geliştirilen yazılım uydu ve göreve bağlı olarak modifiye edilebilir.

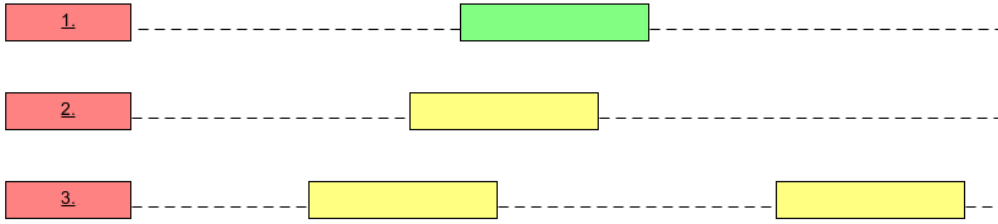
TUSAŞ tarafından geliştirilen Görev Planlama Birimi yazılımının öne çıkan özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Yeni nesil teknoloji kullanma
- Platform bağımsız yazılım geliştirme
- Modern, kullanımı kolay kullanıcı arayüzleri geliştirme

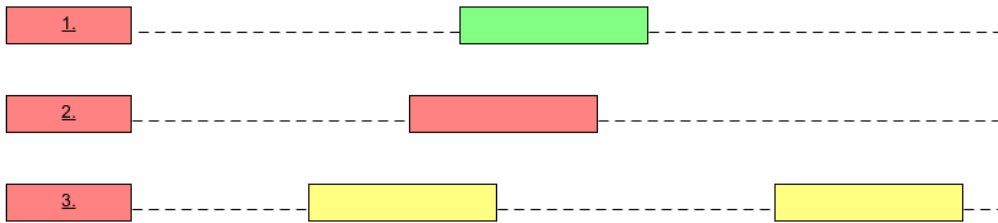
- Bileşen bazlı ve servis yönelimli mimari
 - Kolay idame edilebilirlik
 - Ek özellikler eklemeye ve yeni teknolojileri entegre etmeye elverişlilik
 - Katmanlı mimari uygulanarak katmanlardaki değişikliklerin test ve doğrulamaya etkisinin azaltılması.
- Mevcut projelerin özelliklerini göz önünde bulundurarak geliştirme yapma
- Farklı uydu projeleri için de kullanılabilmesini sağlayacak şekilde tasarlama

Görev planlama faaliyetleri kapsamında kullanıcılar tarafından görüntü istekleri oluşturulmakta ve bu görüntü istekleri Görev Planlama Birimi'ne iletilmektedir (Şekil 3). Görev Planlama Birimi, yörünge ve görüntü isteklerini kullanarak fizibilite işlemi gerçekleştirmektedir. Bu işlem sırasında uydunun görüntü alması istenen ilgi alanına yönelim yapılarak o bölgeye erişip erişemediğine bakılarak işlem yapılmaktadır. Fizibilite analizi sonucunda ayrıntılı görüntüleme fırsatları oluşturulmaktadır. Oluşturulan görüntüleme fırsatları listelenerek operatöre bir sıralama yapması için ortam sunulmaktadır. Operatör, Görev Planında görüntü isteklerinin sıralamasını ve/veya önceliğini değiştirerek ya da belirli görüntüleme fırsatlarını engelleyerek müdahale edebilmekte ve geri dönerek önceki plan denemelerine ulaşabilmektedir. Operatörün planlama işlemini başlatmasıyla görev planlama işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

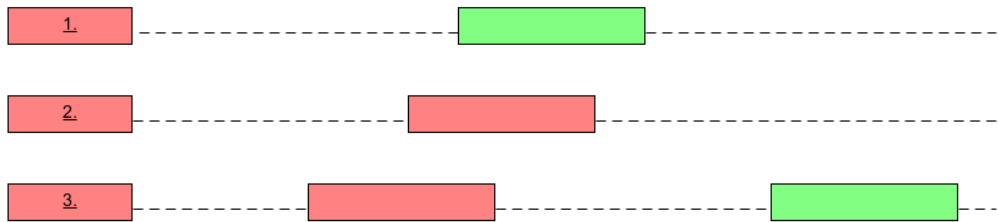
Görev planlama algoritması, en yüksek sıralamaya ve en yüksek öncelik seviyesine sahip olan görüntü isteğinden başlayarak en düşük sıralamaya ve en düşük öncelik seviyesine sahip olan görüntü isteğine kadar görüntü isteklerini listeleterek görev planı oluşturmaktadır. İlk görüntü isteğini plana oturtup ikinci sıradaki görüntü isteğiyle devam etmektedir. Eğer çakışma veya uydu kaynakları ile ilgili bir sıkıntı olursa bu isteği planlamayarak bir sonrakine geçmektedir. Bu algoritma aşağıdaki şekilde gösterilebilir. Şekillerde 1, 2, 3 görüntü isteklerinin sıralama ve öncelik değerleri sonucundaki listedeki yerlerini belirtirken, yeşil renk planlanan görüntü isteklerini, sarı renk görüntü isteğinin planlama fırsatlarını, kırmızı renk ise diğer görüntü istekleriyle çakışan ve reddedilen görüntü isteklerini belirtmektedir. (Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6)



Şekil 4: 1 Numaralı Görüntü İsteğinin Planlanması



Şekil 5: 2 Numaralı Görüntü İsteğinin 1 Numaralı İle Çakıştığı İçin Reddedilmesi

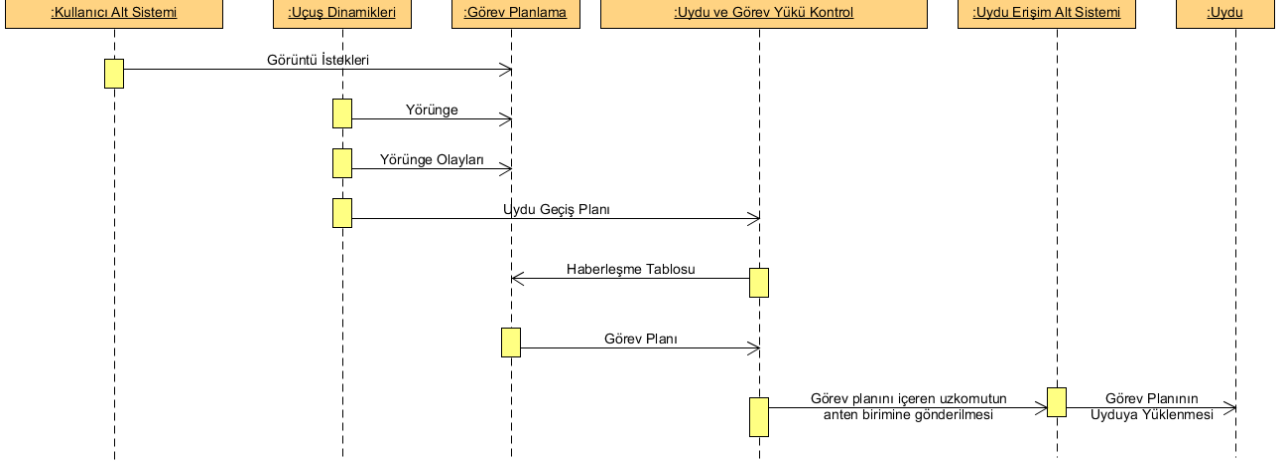


Şekil 6: 3 Numaralı Görüntü İsteğinin İlk Görüntüleme Fırsatının Reddedilip 2. Görüntüleme Fırsatının Planlanması

Görev Planlama akışında Görev Planı oluşturulurken uydunun batarya durumu, hafıza durumu, manevra kabiliyeti gibi uydu kısıtları ile birlikte yer istasyonlarının pozisyonları, anten birimlerinin

çalışma durumları gibi yer kısıtları göz önünde bulundurulmaktadır. Yörünge olayları dosyası uydunun eklipte giriş ve çıkışı, ekvatorдан geçişi gibi bilgileri içermektedir. Bu kısıtlar uydu sağlık uzölçüm verilerine bakılarak, ana plandaki önceki gün sonundaki durumdan ilerletilerek, yörünge ve yörünge olayları dosyası kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu kısıtlar dahilinde oluşturulan görev planı uzkomut oluşturulmak üzere Uydu ve Görev Yüğü Kontrol Birimine gönderilmektedir (Şekil 3 ve Şekil 7).

Uydu ve Görev Yüğü Kontrol Birimi görev planı için oluşturduğu uzkomutları uydu geçişi sırasında uyduya iletilmek üzere Uydu Erişim Alt Sistemine gönderir. Görev Planlama akışı aşağıdaki gibi gösterilebilir.



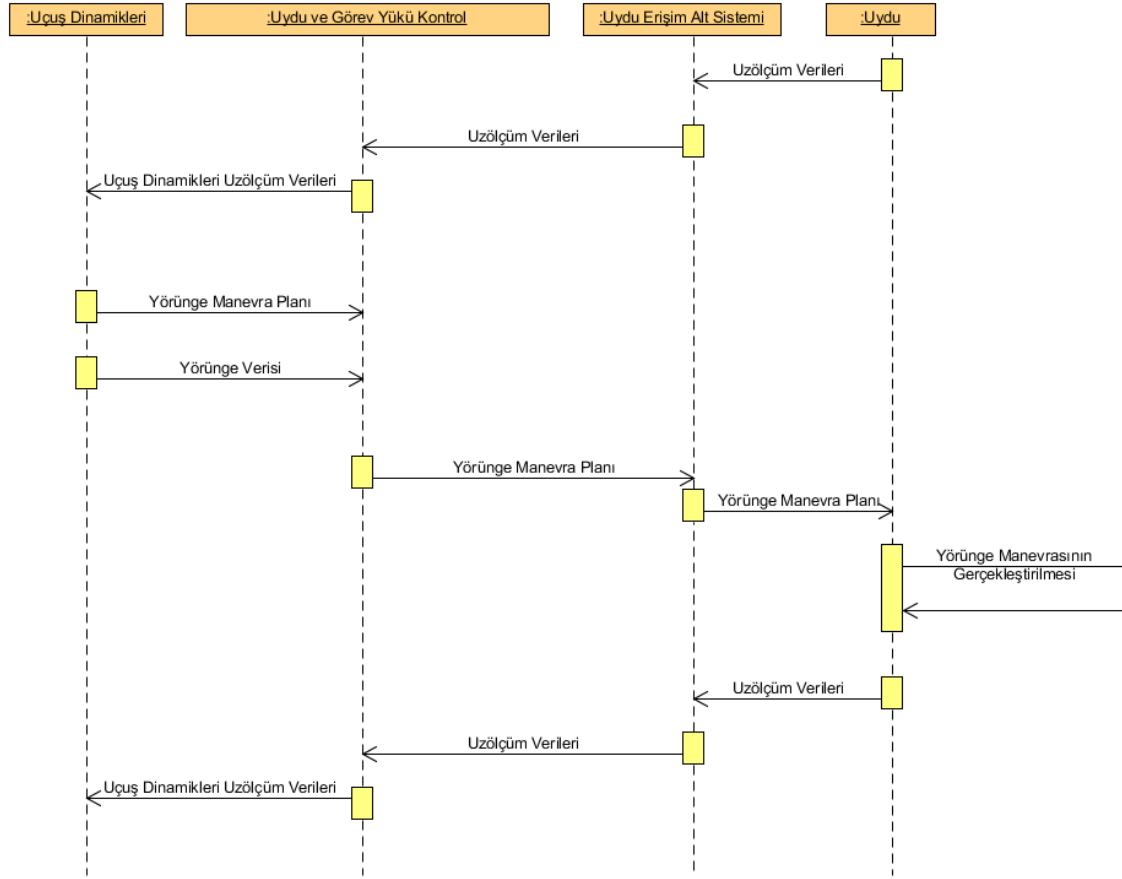
Şekil 7: Görev Planlama Akışı

Uçuş Dinamikleri Birimi

Uçuş Dinamikleri Birimi, uydudan gelen uzölçümleri (Uçuş dinamikleri uzölçümleri) kullanarak uydunun ileriki bir zamandaki tahmini konum ve hız bilgilerini hesaplayıp diğer birimler için gerekli yörünge verilerini üreten ve uzölçümler doğrultusunda gerekli durumlarda yörünge düzeltme manevrası planlayan birimdir (Şekil 8).

Uçuş Dinamikleri yazılımı, uydudan inen GPS gibi uzölçümleri kullanarak uydunun güncel yörüngesini belirleyerek ve bozuntu etkilerini hesaba katarak yörüngeyi ilerletmektedir. Bu bozuntu etkileri, hava sürtünmesi, üçüncü cisim gibi etkenleri içermektedir.

Uydunun yörüngesini belirli bir alan içerisinde tutmak üzere yörünge manevrası planlanmaktadır. Yörünge manevrasının ne zaman yapılacağı gereksinimler tarafından belirlenmekte ve belirli bir limite ulaşıldığında manevra gerçekleştirilmektedir. Uçuş Dinamikleri Birimi'nin diğer birimler ve alt sistemlerle olan veri akışı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: Manevra Planlama Akışı

Uçuş Dinamikleri yazılımı her ne kadar uydu bağımlı olsa da jenerik modellere ihtiyaç duymaktadır. Rafta Hazır Ticari ürün olarak tedarik edilen ürünler al kullan şeklinde bir yapı ile kullanılamamaktadır. Bu sebeple uydu bağımlı göreve yönelik algoritma ve kullanıcı arayüzleri modifikasyonları yapmak gerekmektedir.

Veri tabanı

Veri tabanı uzkomut ve uzölçümlerin tanımları, uzölçümlerin güncel, geçmiş ve limit değerleri gibi verileri barındırmaktadır. Uydu ve Görev Yüğü Kontrol Birimi uzkomutların oluşturulması ve uzölçümlerin işlenmesi kapsamında veritabanında yer alan bu verileri kullanmaktadır. Veritabanı, Uydudaki tüm ekipman, yazılım ve alt sistemlerin her birinde kullanılacak uzkomutları ve uzölçümleri içermektedir.

Uzkomutlar oluşturulurken veritabanında mevcut olan tanım ve paket yapıları kullanılmakta uydudan indirilen uzölçümler de veritabanındaki tanım ve paket yapıları kullanılarak anlamlandırılmaktadır. Uzölçümler uydudan anlık olarak ve uydu iletişim konisi dışında kaldığı durumlarda kaydedilip geçiş sırasında indirilebilmektedir. Uzölçümler, veritabanında mevcut limit değerleri ile karşılaştırılmakta ve bu değerlerin aşılması durumunda operatör Uydu ve Görev Kontrol Birimi yazılımı ile bilgilendirilmektedir.

Veri tabanı, TUSAŞ tarafından mevcut Projeleri ile elde edilen deneyimler dikkate alınarak milli olarak geliştirilmektedir.

SONUÇ

Bu çalışma ile Uydu Yer İstasyonu Komuta Kontrol Alt Sistemi'ni oluşturan birimler hakkında bilgi verilerek, sisteme genel bir bakış sağlanmıştır. Komuta Kontrol Alt Sistemini oluşturan birimlerin arasındaki arayüzler genel olarak verilmiş ve bu kapsamda Komuta Kontrol Alt Sistemine ait işlevlerin nasıl gerçekleştirildiğine yönelik bilgiler verilmiştir. TUSAŞ tarafından baştan uca entegre olarak geliştirilen komuta kontrol alt sisteminin kullanıcılara uluslararası standartlarda hizmet vermesi hedeflenmektedir.

Kaynaklar

<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/asnaro>