

ESNEK GÖREV YÜKLERİ VE HABERLEŞME UYDULARINA KAZANDIRACAĞI UYGULAMALAR

Veli Alperen SEZER ¹
TURKSAT, Ankara

Dr. Selman DEMİREL ², M. Mehmet NEFES ³
TURKSAT, Ankara

ÖZET

Her geçen gün dinamik bir şekilde değişen servis talepleri ve artan bant genişliği gereksinimi uydu servislerinin değişimini ve gelişimini zorunlu tutmaktadır. Measuring Digital Development raporuna göre 2015 ile 2019 yılları arasında uluslararası internet bant genişliği talebi yaklaşık olarak yüzde 33,4 artmış bulunmaktadır[ITU,2019]. Bu artışa 5G ve IOT gibi bant genişliği ihtiyacını artıracak sistemlerin entegrasyonu ile daha da üst seviyelere çekileceğini düşünürsek, uydu servislerinin daha esnek ve geniş bant genişliği taleplerine karşılık vermesi gerekmektedir. Bu gelişmeler çerçevesinde uydu operatörlerinin değişen koşullara uygun tasarımları talep etmesi kaçınılmazdır. Ortalama 15 yıl boyunca yörüngede olacak geleneksel bir görev yükü tasarımına ve sabit bir alanda hizmet vermesi beklenen bir haberleşme uydusunun dinamik ve değişkenlik gösteren taleplere karşılık vermesi beklenemez. Uydu üreticileri sektörün ihtiyaçları, donanım seviyesinde yaşanan teknolojik gelişmeler ışığında artık daha esnek, maliyetlerin uygun ve verimli çözümlerin üretilebilmenin yollarını aramaktadır. Bu noktada esnek görev yükleri sunduğu esnek spektrum yönetimi, servis alanını tanımlama ve güç kontrolü konfigürasyonları ile birlikte kapasite ve kaynak kullanımında verimliliği artırarak daha düşük maliyetlerle sektörün taleplerine cevap vermeyi hedeflemektedir. Bu bildiride gelişen teknoloji ile birlikte uydu sektörüne uyum sağlayacak esnek görev yüklerinin perspektifleri ve uydu servislerine kazandıracağı uygulamalar özetlenmektedir.

GİRİŞ

Uzun yıllardır dünyada iletişimin ana parçası olan uydu sistemleri, değişken servis talepleri ve artan bant genişliği gereksinime karşı kendilerini geliştirmektedirler. Her geçen gün daha da etkisinde olduğumuz dijitalleşme ve küreselleşme yüzünden sabit servis alanlarında trafik ve servis talepleri her zaman aynı değildir ve yaklaşık 20 yıl öncesinden tasarlanan ve dondurulan bir görev tasarımı ile daha önceden optimize edilmesini güçleştirmekte hatta imkânsız hale getirmektedir. Bu gelişmeler uydu üreticilerini ve operatörlerini daha efektif ve maliyet açısından uygun çözümler bulmaya itmektedir ve esnek görev yükünün gerekliliğini işaret etmektedir. Esnek görev yükü, gelişen **aktif ve pasif antenler, çok girişli yükselteç(multi port amplifier) ve kanallama** teknolojilerinin gelişimi ile birlikte operatörlere uydunun yörüngede bulunduğu süre boyunca klasik görev yükleri ile yapamayacağı değişiklikleri, anlık taleplere ve gereksinimlerine göre spesifik bir şekilde yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, ileride öngörülen farklı görevlerde istenilen ekonomik koşullarda maksimum verimlilikte ve hızlı üretim süreçlerini barındıran bir tasarım ile karşılayabilmeyi hedeflemektedir. Ayrıca daha farklı ve çok servis talebine karşılık verebilmesi sayesinde operatörlere iş modellemelerinde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Avantajlarının yanı sıra tasarım, test süreçleri ve operasyon kompleksliği esnek görev yüklerinin dezavantajlarıdır. Görev sırasında yapılabilecek değişiklikleri 3 alana ayırabiliriz; spektrum, servis alanı ve güç kontrolü konfigürasyonları. Bu farklı konfigürasyonlar sayesinde operatör firmanın

1 Teknik Personel, Uydu Programları Direktörlüğü, E-Posta: vasezer@turksat.com.tr

2 Direktör, Uydu Programları Direktörlüğü E-posta: sdemirel@turksat.com.tr

3 Uzman, Uydu Programları Direktörlüğü E-posta: mmnefes@turksat.com.tr

güncel ve gelecekteki görev karakteristiği ve isterler doğrultusunda farklı tasarım opsiyonları arasından en uygun olanı ile gereksinimleri karşılamayı hedeflemektedir.



Şekil 1: Eutelsat Quantum Uydusu [Eutelsat SA,2018].

Airbus ve Eutelsat iş birliğinde yürütülen Quantum projesi bu anlayışın önemli bir ürünüdür. Quantum uydusu operasyon sırasında Ku-bandında esneklik ve ölçekleme için programlanabilen ilk görev yüküne sahiptir. Misyonun 4 ana esneklik odak noktası vardır: kapsama alanı, güç, spektrum ve mimari, ancak nihai yenilik onları uyumlu bir sistemde iç içe geçen sistem yaklaşımında yatmaktadır [Amos ve Fenech,2015]. Ayrıca belirtilen alanlarda operatöre esneklik kazandırırken ileride üretilecek esnek görev yükü bulunduran uyduların geçeceği geliştirme ve test fazlarına da ışık tutmaktadır.

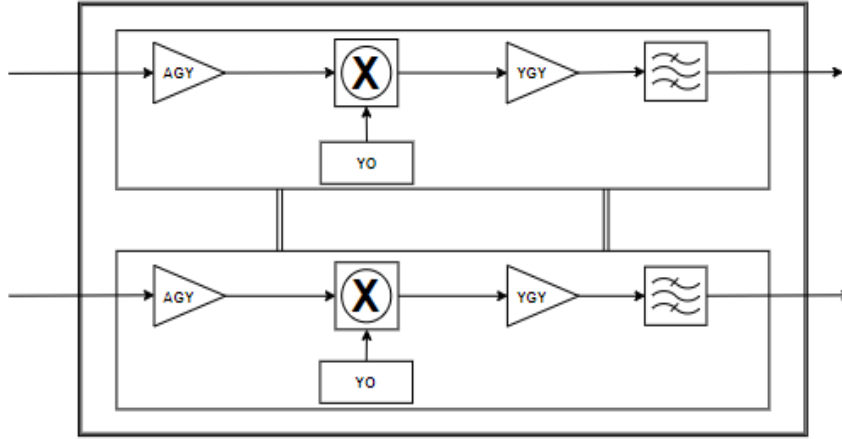
ESNEK GÖREV YÜKÜ TASARIMI

Diğer sektörlere göre uzay sektörü yeni teknolojilerin hemen uygulanması bakımından daha mesafelidir. Bunun nedeni uzun yıllar uydunun uzayda herhangi bir tamirata ya da tadilat şansı olmadan hizmet vermesi ve proje maliyetlerinin üst düzeyde olmasıdır. Bu parametreler göz önüne alındığında tasarım için sağlamlığın ve güvenilirliğin çok önemli olduğu görülmektedir. Genel olarak bir uydu görev yükü tasarımını ele alırsak anten ve tekrarlayıcı olarak iki ana parçaya ayrılmaktadır ve genel olarak bir görev yükünün ana fonksiyonlarını sıralamamız gerekirse:

- Yer istasyonlarından belli frekans ve polarizasyonla gönderilen sinyali gerekli işlemlerden sonra minimum gürültü figürü ile uydu kapsama alanında bulunan son kullanıcıya ulaştırmak.
- Coğrafi ve diğer uydulardan kaynaklanabilecek, iletişim kalitesini hatta bağlantı devamlılığını tehlikeye atabilecek, bozulmalardan en az seviyede etkilenme.
- Yukarı hat ve aşağı hat frekansları arasında geçişi sağlamak.
- İstenilen seviyede sinyal gücünü farklı yükselteç teknolojileriyle sağlama ve kapsama alanına ulaştırmak.

Bu ana maddeler dışında sinyal işleme özelliğine haiz rejeneratif tekrarlayıcılarda çeşitli modülasyon konfigürasyonları ile sinyal üstünde manipülasyon sağlamalıdır ayrıca tekrarlayıcı cinsinden bağımsız olarak çoklu hüzmeye konseptine sahip olan uydular herhangi bir yukarı hat ile herhangi bir aşağı hat arasında anahtarlamaları gerçekleştirmelidir. Uyduların görev yükü çalışma prensibi açısından geleneksel ve işlemsel olarak 2 ana domaine ayrılmaktadır.

Geleneksel görev yükü(Bent – Pipe) uydunun yer yüzeyinden gönderilen sinyalin tekrar yeryüzüne gönderilmeden önce filtrelenmesi, frekans değişimi ve güç seviyesinin değiştirilmesi dışında hiçbir değişiklik yapmadan sabit kanallar ve bant genişliği ile önceden belirlenmiş kapsama alanlarında bulunan son kullanıcıya iletilmesini sağlamaktadır. İşlemsel görev yüklerine göre daha basit bir tasarıma sahip olan geleneksel görev yükleri “transparan” bir yapıya sahip olduğu için farklı sinyal formlarına ve protokollere hizmet verebilmektedir. Avantajları olduğu kadar dezavantajlarda barındırmaktadır, kanallar arasında herhangi bir anahtarlama yapılamadığı için bant genişliği kullanımı son derece verimsizdir. Ayrıca bit hata oranı performansı da düşüktür.



Şekil 2: Geleneksel Görev Yüğü [Buret,2019].

AGY = Alçak Gürültülü Yükselteç (Low Noise Amplifier)

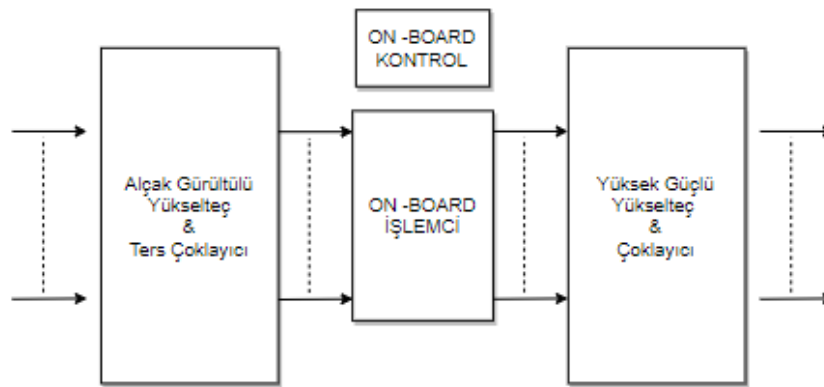
YGY = Yüksek Güçlü Yükselteç (High Power Amplifier)

YO = Yerel Osilatör (Local Oscillator)

İşlemsel görev yükleri görevleri daha kompleks hale getirmesine rağmen görevin içinde esnekliği ve verimliliği artırmaktadır. Eğer işlemsel bir görev yükünden bahsediyorsak, aşağıdakilerin ya hepsini ya da bir kısmını yapabilme kapasitesi olduğunu söyleyebiliriz:

- Demodülasyon ve modülasyon.
- Bant genişliği tahsisi.
- Güç tahsisi.
- Kanallar ile farklı hüzmeler arasında anahtarlama.
- Yukarı hat ile aşağı hat arasında esnek eşleştirme.

Görev yükü üstünde bir tasarımsal bir geliştirme yapıldığında belirgin kazançlar edilmesi hedeflenir. Hedeflenen kazançların daha efektif spektrum ve kaynak kullanımı, daha düşük masraf ve rekabetçi servis olanaklarını sağlaması olduğunu söyleyebiliriz. Bu teknolojiler sayesinde görev süresince farklı kapsama portlarına atanmış kaynaklar ile talep edilen ve farklı lokasyonlarda bulunan servis taleplerine karşılık vererek yörüngede geçireceği süreyi daha efektif hale getirmektedir. Avantajlarının yanında oluşturduğu farklı kombinasyonlar ve çözümler görevlerin karmaşıklığını artırmaktadır.

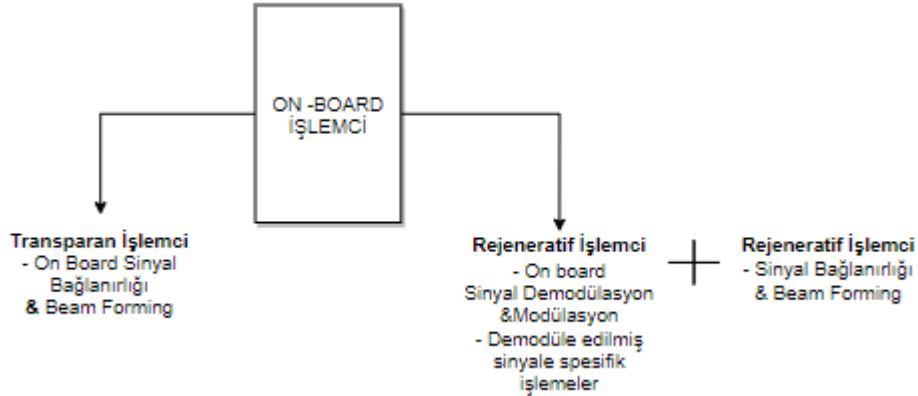


Şekil 3: İşlemsel Görev Yüğü.

İşlemsel görev yüklerini 2 ana gruba ayırmaktadır, rejeneratif ve transparan. Bu noktada en büyük farkı on – board işlemci ortaya koymaktadır. On-Board işlemci türüne göre farklı seviyelerde görev yüküne ve göreve katkı sağlamaktadır:

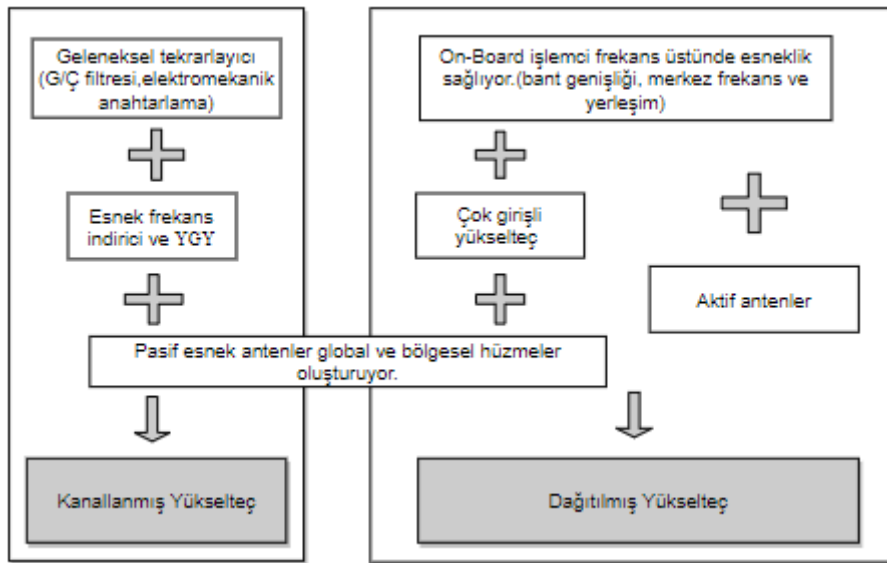
- Noktasal hüzmeye, frekans kanallarının anahtarlama ve hüzmeye şekillendirme ile **1. katmanda** bağlanabilirliği artırabilmektedir.
 - Transparan analog veya dijital görev yüklerince sağlanabilir.
 - Bölgesel (Noktasal Hüzmeye) veya global (tüm kapsamda) bağlanabilirliği tek bir hop üstünden sağlayabilmektedir.

- Çoklu noktasal hüzme konsepti.
- Veri veya paket anahtarlama ile **2. veya 3 katmanda** bağlanabilirliği artırabilmektedir.
- Rejeneratif görev yükleri sayesinde yapılabilir ve bağlanabilirliğin tanecikliğini azaltır.
 - Sinyal üstünde demodülasyon ve modülasyon ile sayesinde daha fazla fonksiyonel olasılığa olanak sağlamaktadır[Buret,2019]



Şekil 4: On Board İşlemci Çeşitleri ve Kazandırdıkları.

Geleneksel ile esnek görev yükü tasarımı arasındaki belli başlı farklılıkları sıralamak gerekirse; frekans esnekliği, modülasyon, çoklu noktasal hüzme ve anahtarlama matrisleridir ayrıca tasarımının kavramını kanallanmış ve dağıtılmış yükselteç olarak iki ana başlığa ayırabiliriz [Bousquet, Meral, Sun 2009].



Şekil 5: Esnek Haberleşme Görev Yükü Konsepti [Bousquet, Meral ve Sun 2009].

Esnek görev yükü tasarımı konusunda pasif ve aktif antenler, kanallamalar ve ÇGY ile birlikte anahtarlamalardaki gelişmeler ve bu ekipmanların kombinasyonu tasarıma esneklik katan ana teknolojilerdir. Bu nokta üreticileri en zorlayan noktadır çünkü modüler yapılar tasarım aşamalarına entegre edilmez ve müşteriye en kısa şekilde ulaştırılacak şekilde yapılmalıdır. Esnekliği kazandıracak ana teknolojileri detaylandırmak gerekirse:

Kanallama Teknolojileri

Analog kanallama yöntemleri ters çoklayıcı ve çoklayıcının frekans sınırlamasından dolayı esnek frekans indiricilerle birlikte kanallama açısından sınırlı esneklik sağlamaktadır; kaynakları önceden belirlenmiş devre anahtarlama kombinasyonları doğrultusunda iletmektedir. Gerçek anlamda bir esneklikten bahsetmek istiyorsak on-board işlemcileri bulunduran bir yapıdan bahsetmemiz gerekiyor çünkü dijital yapılar sistemin kabiliyetini analog donanımlar ile yapılamayacak seviyelere çekmektedir. Dijital kanallama teknolojileri esnek yapının en önemli elemanlarından biridir çünkü bu teknolojiler sayesinde kanallar arasında geçişler sağlanabilir ve istenilen kaynak istenilen

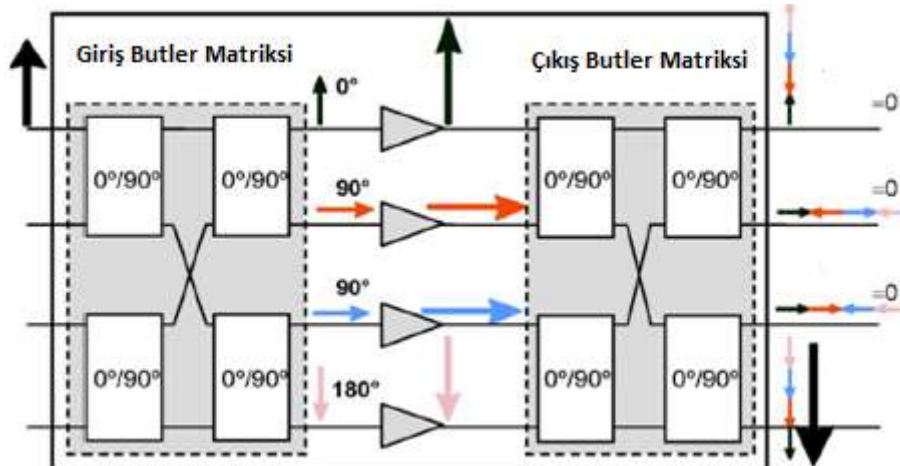
doğrultuda ve son kullanıcıya ulaştırılabilir. Bu sayede uyduya frekans planlarının, huzmelerin ve bant genişliğini istediği gibi yeniden yapılandırma şansı verir ve kaynakların belirli kanallarda değil tüm kanallarda kullanılmasını sağlar. Bu teknolojiye dar bantlarda olduğu gibi tek bir taşıyıcı ile yapılabildiği kadar kolay değildir ve kritik nokta ise geniş bant mimarisinde, bağımsız iletişim kanallarını izole etmek için kullanılan kanallama kanalizasyon tekniğidir[Pucker, 2003]. Dijital kanallama teknikleri frekans domaininde gerçekleştirilir sistemler hesaplama kompleksliği, bant genişliği ve esneklik açısından kolaylık sağlamaktadır. Bunun yanı sıra fotonik elemanlar bir diğer yeni ve konsept halinde olan bir çözümdür. Thales Alenia Space firması tarafından geliştirilen bu konsept görev yükü tasarımının en büyük farkı fotonik prensiplerine göre işleridir. Sisteme giriş yapan sinyal işleneceği yere optik dalga hızları ile iletilmektedir ve yeryüzüne gönderilmeden önce tekrar mikrodalgalara dönüştürülmektedir. Bu tasarım sayesinde uydu üstündeki anahtarlama kapasitesini ve kontrolü artırmaktadır[M. Aveline, M. Sotom, R. Barbaste, B. Benazet, A. Le Kernec, J. Magnaval, P. Ginestet, O. Navasquillo ve M. A. Piqueras, 2014].

Aktif Ve Pasif Antenler

Aktif antenler son zamanların en revaçta konularından biridir ve görev sırasında kapsama alanı üzerinde en esnek yapıya sahip olduklarını söyleyebiliriz. Henüz sektörde çok aktif olarak kullanılsa da barındırdığı birçok esnek hüzmeye ile görevlere çok büyük bir esneklik kazandıracaktır. Uydu görevlerinde kullanılan aktif antenlerin ya da dizi antenler yapısında birçok küçük anten barındırmaktadır ve faz değiştirici sayesinde birbirleri aralarında süper pozisyon yaparak hüzmeye değiştirirler ve istenilen yönde fiziksel bir değişim olmadan sinyali gönderebilirler. Burada uygulanan faz değişimleri sırasında istenilen yönde yapıcı olacak şekilde, diğer yönde ise yıkıcı olması gerekir. Bu tip antenlerin daha yüksek frekansta kullanılması antenin büyüklüğünün ters orantılı olduğu düşünülünce daha mantıklıdır. Ayrıca tasarımlarının kompleksliği, yüksek güç salınımı ve maliyetli yapıları bu tür antenlerin dezavantajlarıdır. Bunun yanı sıra esnek pasif antenler kullanılabilir. Mekanik olarak yönlendirilen bu antenler aktifler kadar etkili olmasa da kapsama alanında değişiklik yapılmasını sağlamaktadır. Ancak aktif antenler ile karşılaştırıldığında sınırlı bir kapsama esnekliği sağlamaktadır.

Çok Girişli Yükselteç (ÇGY)

Esnek görev yüklerinde güç esnekliği için kullanılabilecek olan Çok Girişli Yükselteç teknolojisi klasik yükselteçlerin aksine tasarım sırasında yönlendirildiği hüzmeye değil gerekli durumlarda diğer hüzmelere de aktarabilme kabiliyeti vardır. Yeryüzünden alınan sinyali ilk önce bağlayıcı barındıran güç bölücüleri sayesinde ikiye bölüp faz farkı oluşturduktan sonra tekli şekilde yükseltilecek Butler matrisleri sayesinde yine bağlayıcı barındıran birleştiricilerle istenilen porta iletir. Bu mimari sayesinde daha az güce ihtiyacı olan portlardan daha fazla güce ihtiyacı olan portlara kaynak geçişi sağlanabilir. Bu sayede uyduların uzun kullanım ömrü boyunca pazarın gelişimini verimli bir şekilde karşılamak ve iş planı risklerini azaltmak amaçlı esneklik kazandırır, bu esneklik kapsama alanı, kapsama alanı üzerinde güç tahsisi değişikliğidir[Anakabe, Mallet, Rodriguez ve Sombrin, 2007]. Bu mimarinin temel avantajı, kanallar arasında güç transferini sağlamasıdır, eğer diğer kanallarda güce ihtiyaç yok ise birleşik güç herhangi bir kanalda bir güç artırımı gerekmez kullanılabılır. Buna karşın en önemli dezavantajı kanallar arasındaki izolasyon kayıplarıdır ayrıca her porttan tek taşıyıcı sağlansa da sonunda çoklu taşıyıcı gibi çalışır.



Şekil 6: 4 x 4 ÇGY Çalışma Prensibi[Anakabe, Mallet, Rodriguez ve Sombrin, 2007].

ESNEK GÖREV YÜKÜ UYGULAMARI

Değişen sektör talepleri ve dijitalleşmenin getirdiği artan bant genişliği gerekliliği artık daha esnek, maliyetlerin uygun ve performanslı çözümlerin üretilebilmesi görevdeki uydunun gerçekleştirebileceği uygulama yelpazesini artırmıştır. Bu çözümler sayesinde uydu üreticilerine ve operatörlere kaynakların daha optimize kullanacağı ve esnekliğin üst düzey olduğu operasyon planlarını tasarlamalarına olanak sunmaktadır. Klasik görev yükleriyle sağlayamadığı görev çeşitliliğini, esnek görev yükleriyle birlikte görev süresince operatörlere son kullanıcının değişen talepleri ve coğrafi koşullar doğrultusunda talebin olduğu kanallara diğer kanallardan kaynakların aktarabilmesiyle olanak sunmaktadır. Yani sabit bir giriş ve çıkışa dayalı sinyal iletimine değil her girişim farklı iletim kanalları ile farklı çıkış portlarına yönlendirilebilmektedir ve bu sayede kaynak kullanımının verimliliği de artırılmaktadır. Örnekleme gerekirse, son kullanıcının talepleri veya coğrafi koşullar doğrultusunda yaşanabilecek sinyal gücü seviyesini ÇGY ve anahtarlamalar ile birlikte farklı kapsama alanlarına atanmış portlar arasındaki güç değişimi gerçekleştirerek istenilen sinyal seviyelerine ulaşabiliriz. Tabi ki bu tek çözüm değildir, kanallama teknolojileri sayesinde farklı modülasyon şemaları kullanılarak veya aktif antenler sayesinde de buna benzer talepler farklı çözümler ile karşılanabilir. Son kullanıcının gereksinimlerine göre farklı giriş ve çıkış portu konfigürasyonları, bozulmaların seviyesinin minimum ve verimliliğin yüksek seviyede olacağı şekilde yapılması hedeflenmektedir. Tasarım öncesinde son kullanıcı taleplerinin iyi analiz edilmesi farklı tasarımların oluşturulması sürecinde kritik rol oynamaktadır ve bu girdilere göre hangi tür uygulamanın son kullanıcının talebine daha iyi cevap vereceğini ortaya koyar ve uygulamaları üç ana gruba ayırmaktadır:

Esnek Kapsama Alanı

Kapsama alanına bir görevin en başında, son kullanıcının ve taleplerinin doğrultusunda belirlendiğini düşünülürken görevin verimliliği için çok önemli ve kritik bir aşama olduğunu söyleyebiliriz. Bu yüzden kapsama alanı kazanılacak bir esneklik operatöre değişen sektör koşullarına ve yeni servis alanlarına uyum ve verimlilik açısından kazandıracak esneklik çok değerlidir. İstenilen kapasite artışı ve esneklik elde etmek için günümüzde kullanılan teknolojileri sıralamak gerekirse:

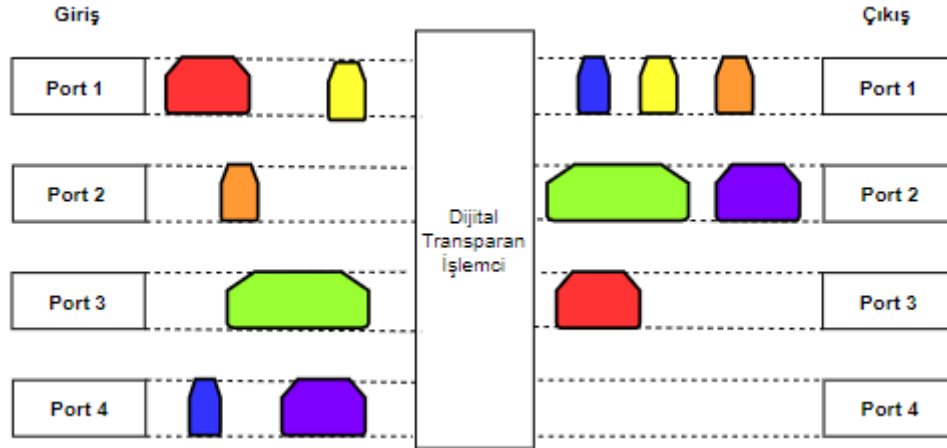
- Aktif dizi antenler;
- Mekanik ayarlanabilir reflektörler;
- Dijital on-board işlemciler;
- Çok girişli yükselteçler;
- Çok hüzmeli antenler;
- Fotonik elemanlar

Yukarıda maddeler halinde sunulan teknolojiler tek başlarına veya birbirleri ile kombine halinde kullanılabilir. Örnekleme gerekirse, klasik çoklu noktasal hüzmeye ile dijital çoklu noktasal hüzmeye konseptini gösterebiliriz. Klasik çoklu noktasal hüzmeler önceden belirlenen tasarımlar doğrultusunda sisteme sınırlı esneklik kazandırır ancak dijital on-board işlemciler ve çok girişli yükselteçler ile birlikte bu sistem kullanıldığı zaman görev alanına yeni bir boyut katarlar. Bu yeni boyut kullanıcının kapasite ve kullanılabilirliğini de artırmaktadır. Esnek çoklu hüzmeye konsepti sayesinde analog elemanlar ile önceden belirlenmiş konfigürasyonlar ile sınırlı esneklik sağlayan sisteme ekstra esneklik sağlamaktadır. Operatörün ihtiyacına göre yukarıda belirtilen elemanlar tek başlarına veya kombin halinde isterleri karşılamak için kullanılabilir.

Esnek Spektrum

Esnek spektrum yönetimi, görev yükü esnekliğinin ikinci önemli kategorisidir ve doğası gereği hem esnek kapsama hem de esnek güçle ilişkilidir. Esnek kapsama kabiliyeti kurulduktan sonra farklı yörüngelerde izin verilen frekans tahsisleri sağlamak için esnek spektrum yönetimine ihtiyaç vardır yani kapsama alanı değiştikçe frekans planı da değişebilir[Porecki, Thomas, Warburton, Wheatley ve Metzget, 2018]. On- board işlemcileri esnek spektrumun kalbi olarak değerlendirebiliriz, paket anahtarlamaları sayesinde istenilen zamanda istenilen girdi ve çıktı kombinasyonlarını sağlıyor ve yoğunluk anında istenilen kanallara geçiş sağlanarak trafiği kontrol edebilmektedir. Bunun

sayesinde kanal ayarlama, kanallama ve bant genişliğinde sağladığı avantajlar ile sisteme esneklik ve kazanç sağlamaktadır. Bunun yanı sıra rejeneratif işlemcilerin modülasyon yetenekleri sayesinde link bütçelerinde operatöre esneklik sağlamaktadır ve gerekli koşullarda farklı şemalar ile çözüm üretme kabiliyeti sağlamaktadır.



Şekil 7: Dijital Transparan İşlemci Örneği.

Bunların yanı sıra Yüksek Veri Hacimli Uydular (High Throughput Satellite) ise istenen bir servis alanına birden fazla hüzme ile kapsayıp aynı frekansı ve polarizasyonu tekrar kullanılarak sistemin spektrum verimliliğini artırmaktadır.

Esnek Güç Konfigürasyonları

Esnek görev yüklerinin tasarımında en büyük motivasyonun uydu üzerindeki kaynakların kullanımının en verimli hale getirilmesi vardır. Klasik bir görev yükü ile operasyon sırasında her zaman bir kanal üstünde olan kaynakları kullanırsınız, buna güç de dâhildir. Aktif antenler tasarım ve maliyet gibi masraflarını düşündüğümüzde bu alanda elimizdeki en kullanışlı teknolojinin ÇGY olduğunu söyleyebiliriz. ÇGY sayesinde uydu üzerinde bulunan güç kaynaklarından bir havuz oluşturulur ve son kullanıcının taleplerine veya o anki coğrafi koşullara göre kanallar arasında güç transferi gerçekleştirilebilir. Bu sayede uydu üzerinde sınırlı olan güç kaynaklarının kullanımının verimliliğini artırır. Tabi bu noktada zorluluklardan bir tanesi büyüyen butler matrislerinin tasarımı ve sisteme entegre edilmesidir. Aktif antenler ve ÇGY, çoklayıcı kullanımı önleyen yaklaşımlardır ve bu nedenle çeşitli aşağı hat frekanslarına uyumlu hale gelmektedir ve bu sayede sisteme hem güç hem de spektrum alanında esneklik sağlamaktadır.

Uygulamalar	Avantajları	Dezavantajları
Esnek Spektrum	- Üst düzey verimlilikle kaynak kullanımı. - Spektral verimlilik üst düzeyde.	- Kompleks tasarım aşaması. - Entegrasyon aşaması.
Esnek Güç Konfigürasyonları	- Güç Kaynakların daha efektif kullanılması. - Coğrafi koşullar uyum ve bağlantı devamlılığı.	- Operasyon karmaşıklığı. - Harmonik bozulmalar.
Esnek Kapsama Alanı	- Farklı lokasyonlarda farklı servis taleplerine cevap verebilmesi. - Tasarım kolaylığı.	- Servis alanları arasında enterferans yaşanma olasılığı - Operasyon karmaşıklığı.

Tablo1: Esnek Görev Yükü Uygulamalarının Avantajları ve Dezavantajları

SONUÇ

Bu bildiride değişen ve artan uydu haberleşme sektörü taleplerine karşılık öne sürülen çözümlerden biri olan esnek görev yükleri ve uygulamaları ele alınmıştır. Uydularda görev sırasında yapılabilecek değişiklikler sayesinde çoklu görev davranışlar sergilenmesi, görevin daha verimli hale getirilmesi ve ilerideki olası görevlerde son kullanıcının farklı isteklerine cevap verebilmesi beklenmektedir. Ayrıca uydu üreticilerinin test süreçlerini ve üretim maliyetlerini optimize etmesi esnek görev yüklerinin kullanımı ve yaygınlaşması için önemli kriterlerdir. Çalışmada belirtildiği üzere üç domainde incelenen uygulamalar kaynakların daha iyi kullanımı, değişen taleplere cevap verebilme kabiliyetini katmasının yanı sıra karmaşık operasyon süreçlerini de getirmektedir. Bu yüzden tasarım sürecinde operatörlerin isteklerine optimize cevaplar verilmesi önemlidir. Esnek görev yükleri barındıran uyduların sayısı günden güne artmaktadır ve yakın gelecekte sayısının daha da artması ve görev yüklerinin tasarımında esnekliğin makul maliyetler ile birlikte genel tasarım prensibi olması beklenmektedir.

Kaynaklar

- Anakabbe A., Mallet A., Rodriguez R. Ve Sombrin J., 2007., *Multiport Amplifier Based Architecture Versus Classical Architecture for Space Telecommunication Payloads*, IEEE Journal.
- Aveline M., Sotom M., Barbaste R., Benazet B., Le Kernec A., Magnaval J., Ginestet P., 2016., *Flexible photonic payload for broadband telecom satellites: from concepts to system demonstrators*
- Amos S. ve Fenech H., 2015., *Eutelsat Quantum: A Game Changer*, ICSSC
- Buret I., 2019., *Satellite System With On Board Processing And Flexibility*, SpaceCom Master Enseeiht
- Bousquet M., Maral G., Sun Z., 2009., *Satellite Communication Systems*
- ITU., 2019., *Measuring Digital Development*.
- Piqueras M. A., 2014, *Reconfigurable microwave photonic repeater for broadband telecom missions:concept and technologies*, International Conference on Space Optics
- Porecki N, Thomas G., Warburton A., Wheatley N., Metzget N., 2018, *Flexible Payload Technologies for Optimising Ka-band Payloads to Meet Future Business Needs*
- Pucker L., 2003., *Channelization Techniques For Software Defined Radio*