



Makale / Research Paper

ARINC 664 P7 AFDX Ağlarında Kablo Optimizasyonuna Dayalı Sanal Bağlantıların Uyarlanmış Genetik Algoritmayla Yönlendirilmesi

Otman Baturay BAYRAM^{1,2a*}, Alper ÖZCAN^{3b}

¹Nişantaşı Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgi Teknolojileri Bölümü, İstanbul/TÜRKİYE

²HAVELSAN A.Ş., SOPT GMY, Ankara/TÜRKİYE

³Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Antalya/TÜRKİYE

baturay82@gmail.com

Received/Geliş: 24.06.2022

Accepted/Kabul: 30.09.2022

Öz: Hava araçları tasarımında kablo ve ekipman ağırlığının azaltılması önemli bir gereksinim kriteridir. Bu maksatla verilerin ihtiyaç duyulduğu yerde işlemlerin gerçekleştirilmesine dayalı fakat kablo ağırlığı getirmeyecek bir yapının tesisini amaçlayan bir sistem mimarisi hedeflenmiştir. Bunun sonucunda hava aracı içinde kullanılan donanımlar arası haberleşme ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik Aviyonik Tam Çift Yönlü Anahtarlamalı Ethernet Ağı (ARINC 664 P7 AFDX) geliştirilmiştir. Bu iletişim protokolü sayesinde; kablo ağırlığını azaltmak için aynı fiziksel bağlantıyı paylaşabilen, Sanal Bağlantı (SB) adı verilen, statik olarak yönlendirilmiş iletişim tünelleri aracılığıyla Ethernet verilerini tek kaynak Uç Sistem (US)'den bir ya da daha fazla US'a dağıtmak mümkündür. Yapmış olduğumuz bu çalışmada kablo ekibi tarafından belirlenen ağ anahtarları arası olası tüm fiziksel hatlar arasında kablo ağırlığı kısıdına dayalı, bu uygulamaya yönelik uyarlanmış bir Genetik Algoritma (GA) vasıtasıyla SB'lerin yönlendirmeleri yapılarak optimal kablo ağırlığının sağlandığı ve gereksiz hatların belirlendiği bir yöntem geliştirilmiştir. Sunulan uyarlanmış GA tabanlı metodun geçerliliğini doğrulamak için karmaşık bir ağ yapısı üzerinde deneysel benzetimle sınanmış ve ayrıca Dijkstra's Shortest Path Algoritması (DSPA) ile karşılaştırması yapılmıştır. Sunulan algoritmanın aviyonik endüstrisinde kullanılabilirliği makalede bahsedilen deneysel benzetimle sınanmış olup, önerilen algoritmayla DSPA'ye göre 25 saniye daha kısa sürede çözüm elde edilmiş ve toplam kablo ağırlığında DSPA çözümüne %5 yaklaşıma sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Kablo, optimizasyon, genetik algoritma, sanal bağlantı, statik yönlendirme.

Optimal Routing of Virtual Links under Harness Weight Constraint Using Modified Genetic Algorithm in ARINC 664 P7 AFDX Networks

Abstract: Reducing the weight of the harness and equipment is an important requirement criterion for aircraft design. harness weight. For this purpose, a system architecture where data is processed where it is needed but does not cause extra harness weight is aimed. As a result, the Avionics Full Duplex Switched Ethernet Network (ARINC 664 P7 AFDX) was developed to meet the data exchange needs among the equipment used in the aircraft. Thanks to this communication protocol; It is possible to distribute Ethernet data from a single source End System (ES) to one or more ES via statically routed communication tunnels called Virtual Link (VL), which can share the same physical link to reduce harness weight. In this article, we developed a method based on the harness weight constraint among all possible physical lines among the switches determined by the harness team, by routing the VLs by means of a Genetic Algorithm (GA) modified for this application, providing the optimal harness weight and determining the unnecessary links. To verify the validity of the proposed modified GA-based method, it has been tested by experimental simulation on a complex network structure and also compared with Dijkstra's Shortest Path Algorithm (DSPA).The usability of the presented algorithm in the avionics industry has been demonstrated with the experimental simulation mentioned in the article, and the proposed algorithm provides a solution in 25 seconds shorter than DSPA and provides a 5% approach to the DSPA solution in total cabling weight.

Keywords: Harness, optimization, genetic algorithm, virtual link, static routing.

Bu makaleye atf yapmak için

Bayram, O.B., Özcan, A., "ARINC 664 P7 AFDX Ağlarında Kablo Optimizasyonuna Dayalı Sanal Bağlantıların Uyarlanmış Genetik Algoritmayla Yönlendirilmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9(4); 1411-1423.

How to cite this article

Bayram, O.B., Özcan, A., "Optimal Routing of Virtual Links under Harness Weight Constraint Using Modified Genetic Algorithm in ARINC 664 P7 AFDX Network" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2022, 9(4); 1411-1423.

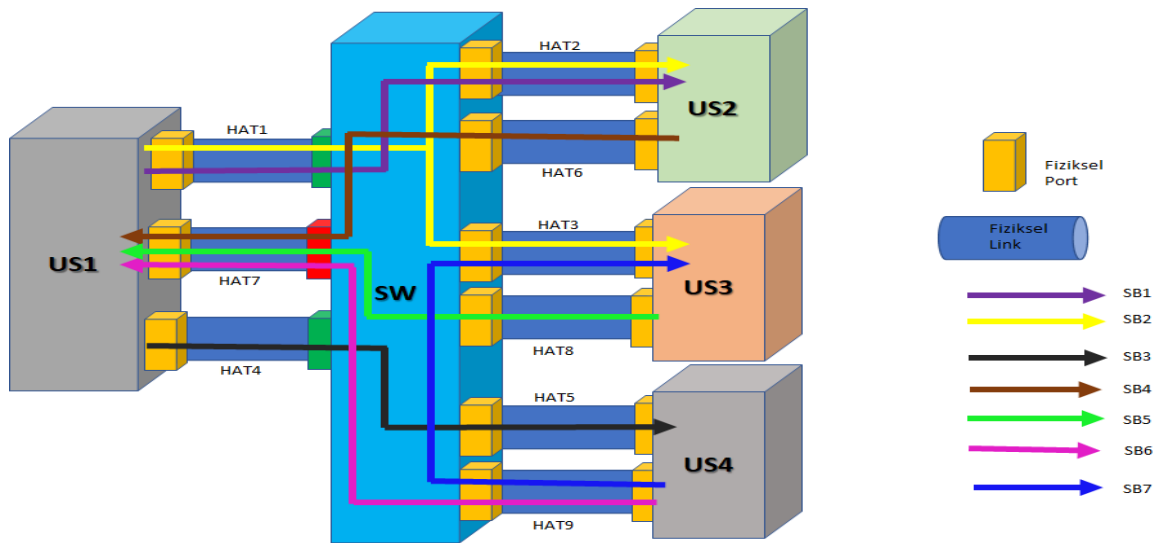
1. Giriş

Hava araçlarında güvenilirlik ve kontrol gereksinimlerinin artması sonucunda; kesikli sinyaller, analog sinyaller ve veri yolu ihtiyaçları da buna bağlı olarak artmıştır. Analog (4-20 mA, 0-10V, değişken direnç, değişken darbe vb.) ve kesikli (discrete I/O) hatlar ile ARINC 429 [1], MIL-STD-1553C [2] gibi veri yollarının sağlanabilir miktarları, veri yollarının bant genişliği limitleri ve toplam kablaj ve ekipman ağırlığı sınırları sebebiyle yetersiz hale gelmeye başlamıştır.

Entegre Modüler Aviyonik (IMA) [3] mimarisi uygulanarak donanım sayısını azaltmak suretiyle ekipman ağırlığına çözüm getirilse de veri yolu miktarı, analog ve kesikli hat miktarının azaltılmasına çözüm getirememiştir. Bu problemin ortadan kaldırılması maksadıyla kullanıcıların kolayca adapte olabileceği bilinen bir model olan Ethernet tabanlı OSI katman modeli [4] ve IEEE 802.3 Ethernet haberleşmesi baz alınarak ARINC 664 veri yolu geliştirilmiştir [5]. İlk olarak Airbus firması tarafından AFDX (Avionics Full Duplex Switched Ethernet) olarak uygulamaya alınmıştır [6].

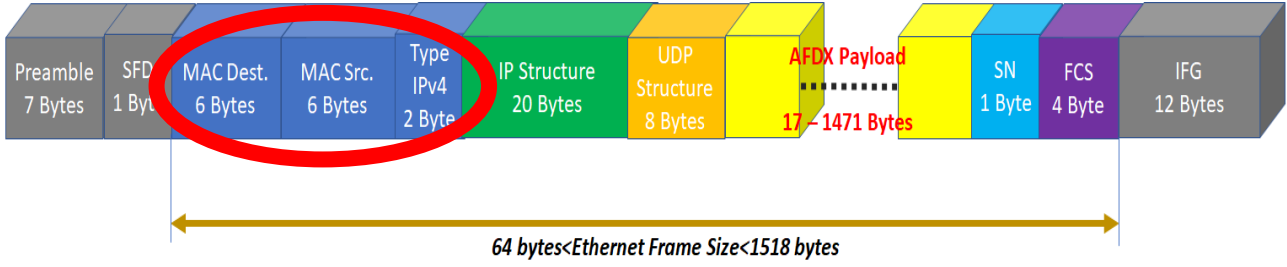
Teknolojik gelişimlere paralel olarak donanımların kabiliyetleri yükselmiş, bunun devamında yazılım geliştirme yetenekleri ve pratikliği de artmıştır. US(Uç Sistem) modülleri; sensorlar, transduserler, eyleyiciler, denetleyiciler, IO modülleri ekipman sağlayıcıların ürünlerine yerleştirilmekte ve kullanımı çoğalmaktadır. Buna bağlı olarak ARINC 664 P7 AFDX ağ yapısının kullanımı ve bilinirliği de artmaktadır. Bunun neticesinde aviyonik mimari, federe ve IMA yapıdan uçtan uca veri değişimi ve yerinde işlemi sağlayan dağıtık mimariye dönüşmektedir. Bu dönüşüme bağlı olarak ilerleyen dönemlerde hava araçları sistem mimarisi tasarımlarında ARINC 664 P7 AFDX veri yapısının omurga olarak kullanılmasıyla dağıtık sistem mimarisi kullanımı da gelişecektir [7]. Dağıtık sistem mimarisinde okunan sensorlar, komuta edilen eyleyiciler gibi US'lar kendine en yakın ARINC 664 P7 AFDX düğüm anahtarına(Switch) bağlanır ve buradan komşu düğümler üzerinden US'dan US'a veri akışı sağlanır.

Aviyonik uygulamalar için ARINC 664 P7 AFDX ağında veri iletimi SB(Sanal Bağlantı)'ler üzerinden işlemektedir. Veri dağıtımını tek yönlü sanal mantıksal yol oluşturularak statik yapılandırılmış SB'ler üzerinden gerçekleştirilir. Ayrıca SB'ler tek bir kaynak US'dan, bir veya daha fazla US'a veri aktarımını mümkün kılar. Fiziksel bağlantı birçok SB tarafından band genişliği kapasitesine bağlı olarak paylaşılabilir. Şekil 1. 7 SB, 4 US ve 1 ağ anahtarından(SW) oluşan temel ARINC 664 AFDX ağı üzerinde 7 farklı SB'nin bu ağ üzerindeki veri iletimi gösterilmiştir.



Şekil 1. 7 SB, 4 US ve 1 ağ anahtarından(SW) oluşan temel ARINC 664 AFDX ağı

Verilerin statik olarak yönlendirilebilmesi için ARINC 664 P7 AFDX Ethernet çerçeveleri 16 bitlik SB kimlik tanımlayıcısını MAC başlığında ihtiva eder(Şekil 2).



Şekil 2. ARINC 664 AFDX ağı Ethernet çerçevesi

Hava aracı tasarımında en önemli tasarım kısıtlarından biri kablaj ağırlığının minimize edilmesidir. ARINC 664 P7 AFDX ağlarında bu kablaj ağırlığının optimizasyonu karmaşık dağınık (complex mesh) topolojideki düğüm noktaları arasındaki hat ağırlığını minimize ederek sağlanabilir. Bu hat ağırlığı iki düğüm arasındaki mesafeye ve bu hatta kullanılan fiber ya da bakır gibi hat malzemesine bağlıdır.

Literatür özeti kısmında belirtilen çalışmalar dikkate alınarak sunulan bu çalışmada karmaşık dağınık ağ yapısında kablaj ekibi tarafından belirlenen ağ anahtarları arası olası tüm fiziksel hatlar arasında hat ağırlığı kısıdına dayalı, bu uygulamaya yönelik uyarlanmış bir Genetik Algoritma(GA) vasıtasıyla SB'lerin yönlendirmeleri yapılarak optimal kablaj ağırlığının sağlandığı ve gereksiz hatların belirlendiği bir yöntem geliştirilmiştir. Sunulan uyarlanmış GA tabanlı metodun geçerliliğini doğrulamak için karmaşık ağ yapısı üzerinde deneysel benzetimle sınanmış ve ayrıca Dijkstra's Shortest Path Algoritması ile karşılaştırması yapılmıştır. Sunulan algoritmanın aviyonik endüstrisinde kullanılabilirliği deneysel benzetim sonuçlarıyla ortaya konmuştur.

2. Literatür Özeti

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında, SB'lerin statik yönlendirmesi için kısıtlı miktarda algoritma yöntemi bulunmaktadır. Floyd-Warshall(FW) algoritması kullanılarak hatlar üzerinde maksimum band genişliği kullanımını sağlayarak SB'lerin yönlendirmelerini yapılandırılan bir çalışma yapılmıştır [8]. Trajectory Approach yöntemine dayalı bir algoritmayla mesajların iletim süresi kısıdına dayalı SB'lerin yönlendirme çalışması yapılmıştır [9]. SB'lerin hatlardaki band genişliğini dengeli kullanmalarını sağlayan MILP algoritması aracılığıyla ağdaki SB'leri yönlendirilen bir çalışma sunulmuştur [10]. Bir diğer çalışmada ise SB'lerin yönlendirmelerini oluşturmak için geliştirilmiş bir Frank Wolfe algoritmasının kullanımından bahsedilmiştir [11].

Literatürde başka uygulama alanlarındaki kablaj, boru ve hortum yönlendirmelerinin GA tabanlı çözümleri de incelenmiştir. Uçak motorları içinde hortumların yönlendirmesi GA tabanlı algoritma kullanılarak yapılmıştır [12]. Geliştirilmiş bir GA algoritması kullanılarak gemilerde dallanmış hortumların yönlendirilmesi maksadıyla bir çalışma yapılmıştır [13]. A* ve GA kullanılarak gemilerde boruların yönlendirilmesi sağlanmıştır [14]. Kablaj demeti yönlendirmesinin GA çözüm yaklaşımı sunulmuştur [15]. Başka bir çalışmada ise kabloların otomatik olarak yönlendirilmesi maksadıyla özelleştirilmiş bir GA algoritması sunulmuştur [16].

Ağ sistemlerinde yönlendirmelerinin GA ile gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Kablosuz karmaşık ağlarda yönlendirme protokolü tasarımı için GA tabanlı bir çözüm önerilmiştir [17]. Belirli bir trafik yoğunluğunda gürbüz ağ tasarımı maksadıyla GA yaklaşımlı bir çözüm sunulmuştur [18]. GA uygulaması ile kademeli kalite hizmeti sağlayan ağlarda zeki yönlendirme

uygulaması geliştirilmiştir [19]. Amaca Özel (Ad Hoc) ağlarda kullanıma yönelik GA kullanımı çalışması yapılmıştır [20]. Sensor ağlarında enerji etkin yönlendirme protokolü GA algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir [21].

ARINC 664 P7 AFDX ağlarında GA'nın kullanımına yönelik literatür taramasında; AFDX ağlarında konfigürasyon optimizasyonun GA ile yapılması [22], kritiklik optimizasyonun GA ile gerçekleştirilmesi [23] çalışmaları karşımıza çıkmaktadır.

Anılan çalışmaların hiç birisi ARINC 664 P7 AFDX ağlarında kablaj ağırlığı kısıdını hedef alarak SB'lerin yönlendirilmesi ile ilgili değildir. Belirtilen kablaj ağırlığı kısıdı çerçevesinde çoklu düğüm noktaları içinde optimal hat ağırlığının sağlanması amacıyla SB'lerin yönlendirilmesinde deterministik yöntemlerin kullanılması ancak düşük miktarda düğüm sayısının olması halinde mümkündür. Düğüm sayısının yüzlerce olması halinde yapılması gereken kombiyasyonel hesaplama miktarına bağlı olarak zaman ve bilgisayar kapasitesi ihtiyacını da beraberinde getirir. Bir diğer yöntem olarak deneme yanılma yöntemi ile yapılması halinde ise yüzlerce düğüm arasında kaybolmaya ya da ilk sistem sınırlarının test edilmesi aşamasında sıkıntı yaşanmasıyla sonuçlanır. Bu kapsamda sezgisel bir yöntem kullanılması en ideal optimizasyon çözüm yöntemi olarak karşımıza çıkar. Yapmış olduğumuz çalışma ile kablaj ağırlığını göz önüne alarak ARINC 664 P7 ağlarında SB'lerin yönlendirmesini sağlayan uyarlanmış GA tabanlı yönlendirme algoritması literatüre sunulmuştur.

3. Metot

3.1. Problem Tanımı

Graf teorisine uygun olarak ARINC 664 P7 AFDX ağının olası kurulumu mümkün olan tüm ağ anahtarları arası linklere ilişkin komşuluk (adjacency) matrisi H, Eşitlik 1 ile ifade edilir.

$$H_{n \times n} = \begin{bmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1} & \cdots & h_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

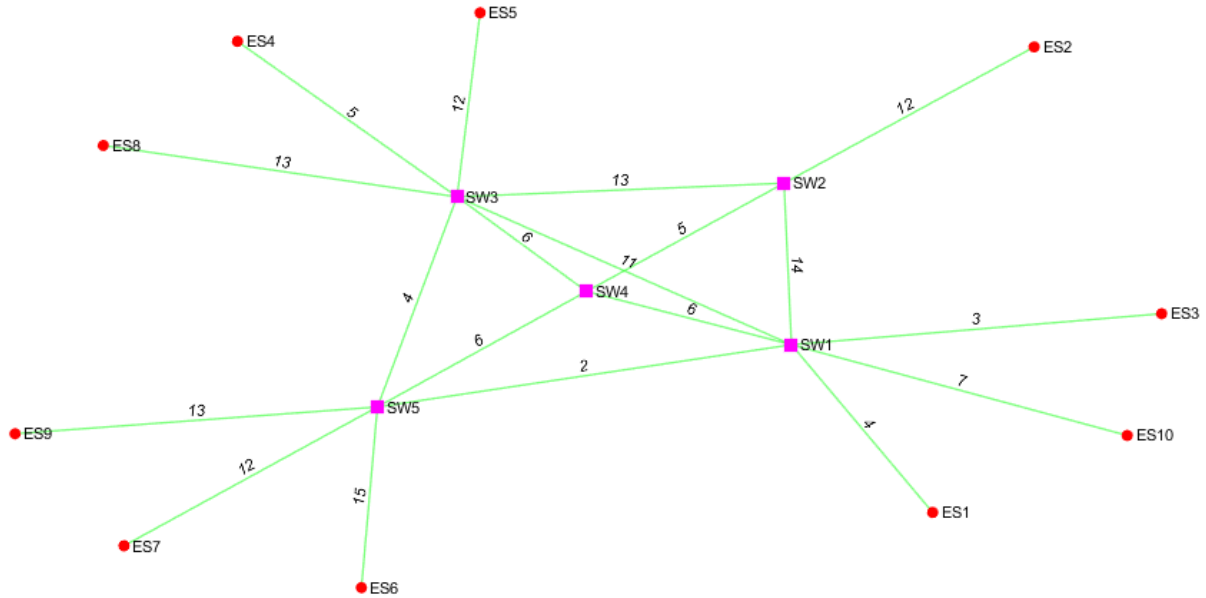
Bu çalışmada $H_{n \times n}$ matrisi tüm ağdaki uç sistemlerin ve düğüm anahtarlarının birbirleri ile olan fiziksel bağlantılarını temsil etmektedir. Eşitlik 1 ile belirtilen komşuluk matrisindeki her bir hat h_{ij} ile Eşitlik 2'de belirtildiği şekilde değer ataması yapılır. K , düğümler arasındaki bağlı kenarlar kümesini belirtir ve K kümesi için US'lar arasında kenar (bağ) yoktur.

$$h_{ij} = \begin{cases} h_{ij} = h_{ji} = w_{ij} , & (i \neq j) \wedge h_{ij} \in K \\ h_{ij} = h_{ji} = 0 , & (i = j) \vee h_{ij} \notin K \end{cases} \quad (2)$$

Bir hattın ağırlığı ise Eşitlik 3 ile belirlenebilir.

$$w_{ij} = d_{ij} \times S_{ij} \times l_{ij} \quad (3)$$

Burada w_{ij} , i düğümü ile j düğümü arasındaki hattın ağırlığı temsil etmekte olup; d_{ij} söz konusu hattın öz kütleini, S_{ij} kesit alanını ve l_{ij} ise uzunluğunu temsil eder. Anılan eşitlikler kullanılarak oluşturulmuş basit bir ağ yapısının graf gösterimi Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. 5 adet ağ anahtarı ve 10 adet uç sistemden oluşan temel bir ağı gösterimi

Bir sanal bağlantının yönlendirmesine ilişkin uygunluk (fitness) değeri Eşitlik 4 ile hesaplanır.

$$F = \sum_{\forall w_{ij} \in V_{ab}^k} w_{ij} \quad (4)$$

Burada V_{ab}^k , a düğümünden b düğümüne veri aktarımı yapan k'nci SB'nin hat ağırlığı kümesidir. Bir SB'nin dolaştığı hatların ağırlıklarının toplanması suretiyle o SB'ye ilişkin yönlendirmenin uygunluk değeri bulunur.

3.2. Genetik Algoritma ve Uyarlamaları

Yapmış olduğumuz çalışmamızda kullanılan genetik algoritma Algoritma 1'de, bu algoritmadaki uyarlamalar ise alt bölümlerde sunulmuştur. Algoritma 1'in işleyişinde öncelikli olarak başlangıç nüfusu kadar birey üretilir. Ardından bu bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak en iyi ikisi gelecek nesilleri üretmek için seçilir. Çaprazlama ve mutasyon olasılıklarına bağlı olarak çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilir ve yeni nesil bireyler nüfusa eklenir. Toplam nüfusun belli değer üstüne çıkması engellenir. Bu popülasyondaki bireyler uygun değerine göre tekrar sıralanır en iyisi eğer bir önceki çözümden daha iyi ise en iyi çözüm olarak atanır. Bu işlem çözüm süresi göz önüne alınarak önceden belirlenmiş bir iterasyon sayısı kadar gerçekleştirilir. Bu düzen bütün SB'lerin tüm hedef US'ları için tekrarlanır.

Algoritma 1 Uyarlanmış Genetik Algoritma

Input: H, SB(kaynak,hedef)

Output: yönlendirmeler, fitnessGA

1: Rulet tekeri ile seçim yaparak rastgele ilerlemeyle ilkel bireyleri üret;

2: Bireylerin yönlendirmelerindeki döngüleri silerek başlangıç popülasyonunu üret;

2: Popülasyonun uygunluk değerlerini hesapla;

3: Uygunluk değeri en iyi iki ata bireyi seç;

4: Rastgele sayı üret ve bu değer çaprazlama oranından büyükse *uyarlanmış çaprazlamayla* yeni bireyler üret;

- 5:** Rastgele sayı üret ve bu değer mutasyon oranından büyükse *uyarlanmış mutasyonla* bireyleri güncelle;
- 6:** Yeni bireyleri popülasyona ekle;
- 7:** Popülasyonun uygunluk değerlerini hesapla ve en iyi bireyi seç, eğer daha önceki çözümden iyi ise çözüm olarak ata;
- 8:** İstenen maksimum iterasyon sayısına ulaşırsa işlemi durdur, değilse adım 3'e git;

3.2.1 Ata Birey Oluşturulması

Ata birey üretiminde düğüm noktaları arasındaki hat seçiminde hat seçim olasılıkları Eşitlik 4 ile hesaplanır. Eşitlik 4'de $P_{i,j}^k$, k'ncü SB için i düğümünden j düğümüne geçiş olasılığını göstermektedir. Burada w_{ij} , l_{ij} 'nin hat ağırlığı olup Eşitlik 3 ile hesaplanmaktadır. $\sum w_i$ ise i düğümünden geçilebilen tüm hatların ağırlıklarının toplamıdır.

$$P_{i,j}^k = \frac{w_{ij}}{\sum w_i} \quad (4)$$

Hat seçiminde düşük olasılıklı yolların da seçilebilmesi için rulet çarkı yöntemi kullanılmıştır. i düğümünden j, j+1, j+2, ..., j+n düğümlerine gitme olasılıkları için bir dizi oluşturulur. Sonra bu dizinin kümülatif toplamı rulet çarkı dizisine atanır. Bundan sonra bir Gaussian dağılımlı [0,1] aralığında rasgele bir "r" sayısı üretilir ve bu r sayısı kümülatif toplam dizisinde hangi aralığa denk gelirse o olasılığa karşılık gelen hat seçilir. Böylelikle seçimlerde tam bir rastgelelik sağlanarak hep olasılığın yüksek olduğu yol yerine diğer yolların da denenmesi sağlanır. Böylelikle tarama uzayı genel olarak araştırılarak en uygun seçime ulaşılması sağlanır. Sonrasında bu rastgele ilerleme sonucu elimizde ilkel bireyler oluşur bunlardaki kapalı döngüler silinerek ata bireyler oluşturulur.

3.2.2 Uyarlanmış Çaprazlama

Elde edilen iki ata bireyin rasgele belirlenecek iki noktasından çaprazlama yapmak; bu iki düğüm anahtarı arasında bağlantı olup olamayacağına bağlı olarak değişeceği için doğrudan bu iki gen parçasını birleştirmemize engel teşkil eder. Bu sorunun giderilebilmesi için çaprazlama uyarlaması Algoritma 2'de sunulmuş olup bu uyarlamamın çalışması şu şekildedir:

Öncelikli olarak ilk ata bireyin gen parçaları ile ikinci ata bireyin gen parçalarının benzer olduğu düğümler olası çaprazlama noktaları olarak belirlenir. Ardından gen boyunun kısalması bize çoğunlukla daha iyi uygunluk değerli bireyler üreteceği için genler üzerindeki olası çaprazlama noktalarının en uç iki noktası üzerinden çaprazlama yapılır. Ardından meydana gelen birey üzerinde döngü olup olmadığı kontrol edilir, eğer varsa döngü silinerek daha ari ırk bir çocuk elde edilir.

Algoritma 2 Ata 1 ile Ata 2'nin Çaprazlanması

- 1:** Ata 1 ile Ata 2 arasında aynı olan düğüm noktalarını belirle;
- 2:** Ata 1 ve Ata 2 arasında birleşimin yapılabileceği en uç düğümleri belirle;
- 3:** Ata 1 ve 2 arasında belirlenen noktadan çaprazlama yap;
- 4:** Meydana gelen bireyde döngü kontrolü yap;
- 5:** Döngü varsa sil, yoksa yeni birey olarak popülasyona ekle;

3.2.3 Uyarlanmış mutasyon

Çaprazlama sonucu elde edilen bireyin herhangi bir noktasından doğrudan değişim yapmak mümkün değildir. Mutasyonun yapılabilmesi için yönlendirme dizisi üzerindeki düğüm noktalarının sırayla öncül ve ardıl düğümlerinin incelenip bunların değişiminin yapılabileceği alternatif bir hat olup olmadığının komşuluk matrisi üzerinden kontrol edilerek uygun mutant gen bulunması halinde

gerçekleştirilebilir. Uygun mutant bulunması halinde gerekli mutasyon yapılır ve ardından mutasyon sonrası döngü oluşup oluşmadığı kontrol edilir. Şayet döngü oluştuysa silinir ve daha ari yani uygunluk değeri daha yüksek bir birey elde edilir. Bahsedilen mutasyon uyarlamasının algoritmik akışı Algoritma 3’de sunulmuştur.

Algoritma 3 Çaprazlama Sonucu Elde Edilen İlk Bireyin Mutasyonu

- 1: Mutasyona tabi tutulacak gen üzerinde her bir düğümün öncül ve ardıl geçiş düğümlerini belirle;
 - 2: Komşuluk matrisinde bu belirlenen iki düğüm arasında alternatif bir geçiş olup olmadığına bak;
 - 3: Geçişleri hafızaya al;
 - 4: Bu geçiş olabileceklerden birini rastgele seç;
 - 5: Mutasyonu gerçekleştir;
 - 6: Döngü olup olmadığını kontrol et;
 - 7: Döngü varsa sil, yoksa devam et;
-

3.3. Dijkstra’s Shortest Path Algoritmasının Karşılaştırma Amaçlı Kullanımı

Önerilen algoritmanın karşılaştırılması için bir graftaki düğümler arasında en kısa yolu bulmaya yarayan Dijkstra's Shortest Path (DSP) algoritması kullanılmıştır [24]. MATLAB ortamında hazır bir fonksiyon olarak bulunan DSP fonksiyonuna hat ağırlık matrisinden oluşturulmuş graf ağı verildikten sonra her bir SB'nin varış noktası için ayrı ayrı hesaplatılarak yönlendirme çözümleri elde edilmiştir. Elde edilen çözümlerin uygunluk hesaplamaları Eşitlik 4’de sunulduğu şekilde F değerleri elde edilmiş ve bu değerler önerilen algoritmanın kıyaslanması için kullanılmıştır. DSP algoritmasının kullanımı aşağıda Algoritma 4 ile gösterilmiştir.

Algoritma 4 Dijkstra’s Shortest Path Algoritması

Input: H, SB(kaynak,hedef)

Output: yönlendirmeler, fitnessDSP

Initialisation :

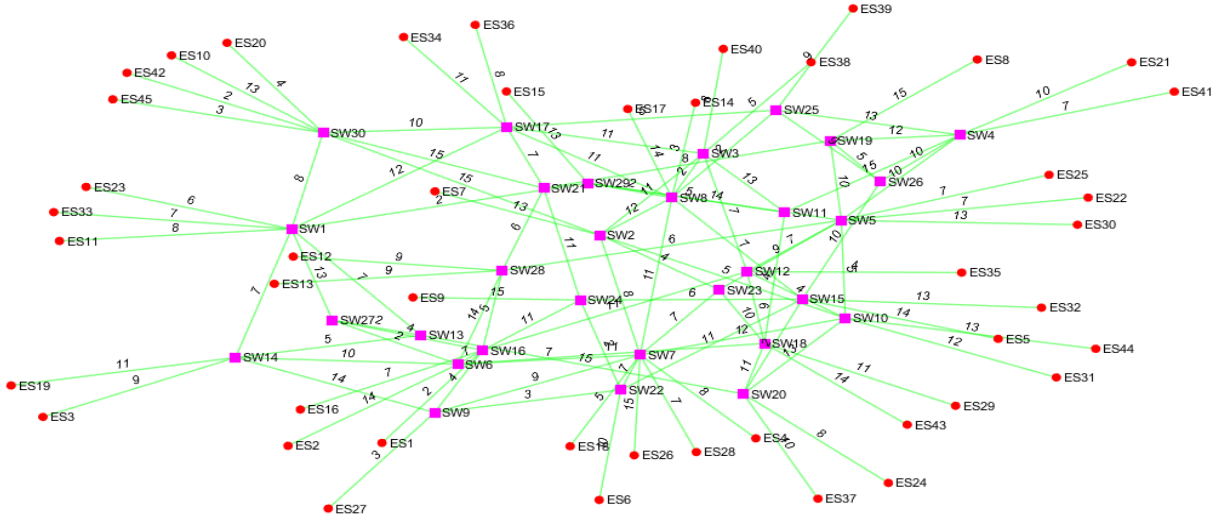
- 1: G=graph(H);
 - 2: **for all** SB(kaynak) **do**
 - 3: **for all** SB(hedef) **do**
 - 4: yönlendirmeler(kaynak,hedef)={shortestpath(G,SB(kaynak),SB(hedef))};
 - 5: fitnessDSP(kaynak,hedef)=fitnessCalculator(yönlendirme(kaynak,hedef));
 - 6: **end for**
 - 7: **end for**
-

4. Deneysel Benzetim, Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde öncelikli olarak Bölüm 4.1’de gerçekleştirilen deneysel benzetimden bahsedilmiştir. Ardından Bölüm 4.2’de elde edilen sonuçlar gösterilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

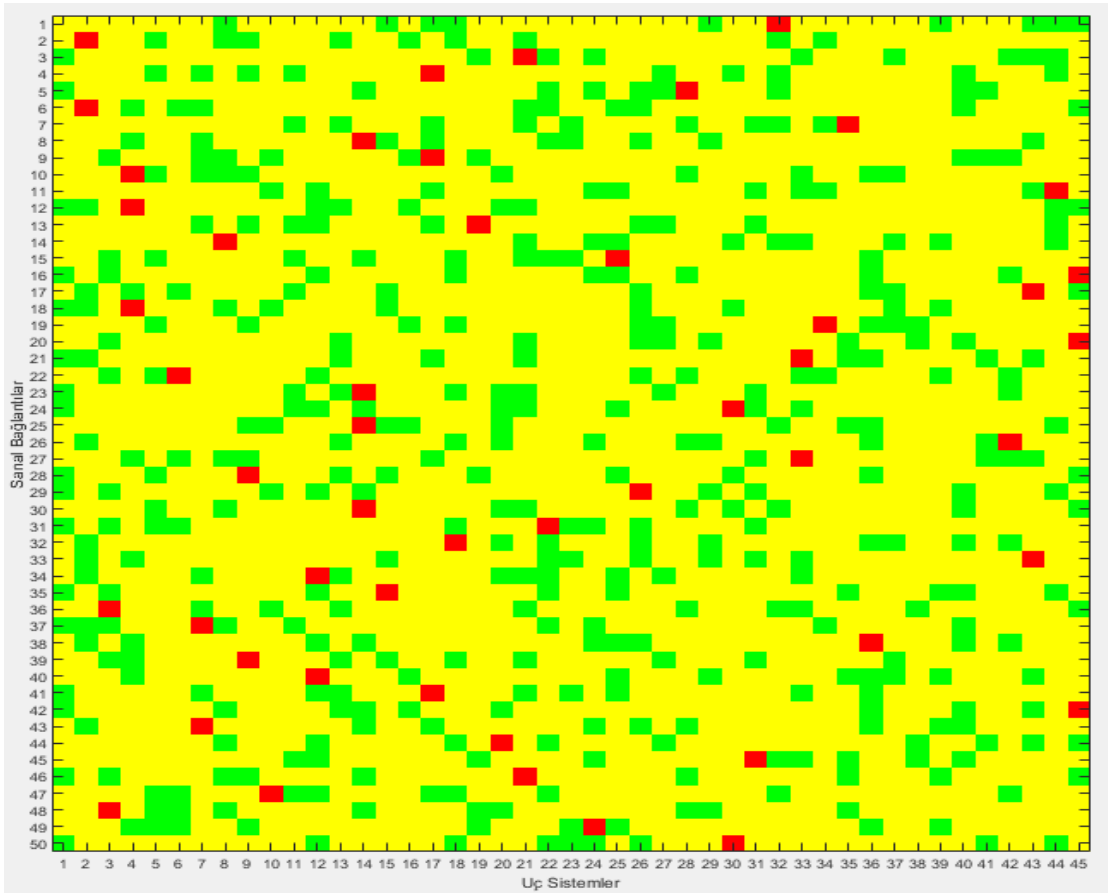
4.1. Deneysel Benzetim

Sunulan algoritmayı denemek ve etkinliğini karşılaştırmak için 45 US ve 30 Ağ Anahtarından oluşan toplamda 75 düğümlü bir ağ tasarlanmıştır. Deneyde her US kendi arasında, her anahtar da kendi arasında özdeştir. Bu ağda her US, uçak içinde bağlantısı mümkün olan tek bir anahtara bağlanmıştır. Anahtarların ise maksimum 11 adet, minimum 4 adet olmak üzere genel olarak ortalama 6 adet bağlantısı bulunmaktadır. Ağ anahtarlarının kendi arasındaki bağlantı sayısı ise 4’dür. Her bağlantı, 1 birimi 100 gr’a karşılık gelen 2 – 14 birimlik tek hatlardan oluşmaktadır. Anılan yapının graf gösterimi Şekil 4’de sunulmuştur. Şekil 4’de kırmızı noktalar US(End System=ES), mor kareler ise ağ anahtarlarıdır(Switch=SW).



Şekil 4. 45 uç sistem, 30 ağ anahtarı ve her ağ anahtarı arası 4 link olan kompleks topoloji

Deneyde kullanılmak üzere her birinin 9 farklı hedef US'u olan 50 adet SB oluşturulmuştur. Her sanal bağlantının kaynak ve hedef ağ anahtarları Şekil 5'de sunulmuştur. Kırmızı noktalar ilgili SB'nin kaynak US'unu, yeşiller hedef US'unu, sarılar ise dağıtım yapılmayanları göstermektedir.



Şekil 5. Sanal bağlantıların kaynak ve hedef uç sistemleri

Tanımlanan ARINC 664 AFDX ağında önerilen uyarlanmış genetik algoritma ve Dijkstra's Shortest Path(DSPA) algoritması kullanılarak kablo ağırlığı kısıtı altında en optimal çözümün elde edilmesine yönelik deneyler koşturulmuş ve elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır. Deneysel benzetimi gerçekleştirilen uyarlanmış genetik algoritmanın parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Uyarlanmış genetik algoritma parametreleri.

Maksimum İterasyon Sayısı	Çaprazlama Olasılığı	Mutasyon Olasılığı	Başlangıç Nüfusu	İzin Verilen Maksimum Nüfus
1000	%85	%50	10	50

Optimal çözüme ulaşmada zaman açısından tasarruf sağlayabilmek maksadı ile maksimum iterasyon sayısının 1000 ve başlangıç nüfusunun 10 ile sınırlandırılmasının daha efektif olduğu aynı deneyin farklı değerlerle gerçekleştirilmesi sonucu belirlenmiştir. Söz konusu deneyde araştırma uzayının yetersiz taranmasına engel olacak ve kontrollü ıraksamayı da sağlayacak şekilde izin verilen maksimum nüfus 50 olarak atanmıştır. Çaprazlama olasılığı ise yeni yapının oluşmasının çok az sayıda kalmasını engelleyecek, kuvvetli yapıların ise bozulmasına sebep olmayacak en uygun değer %85 olarak bu deneye özgün olarak belirlenmiştir. Mutasyon olasılığı, araştırma alanında yeni bölgelerin de taranması sağlayacak fakat popülasyon tahribatını engellenmesini sağlamak maksadıyla %50 olarak atanmıştır.

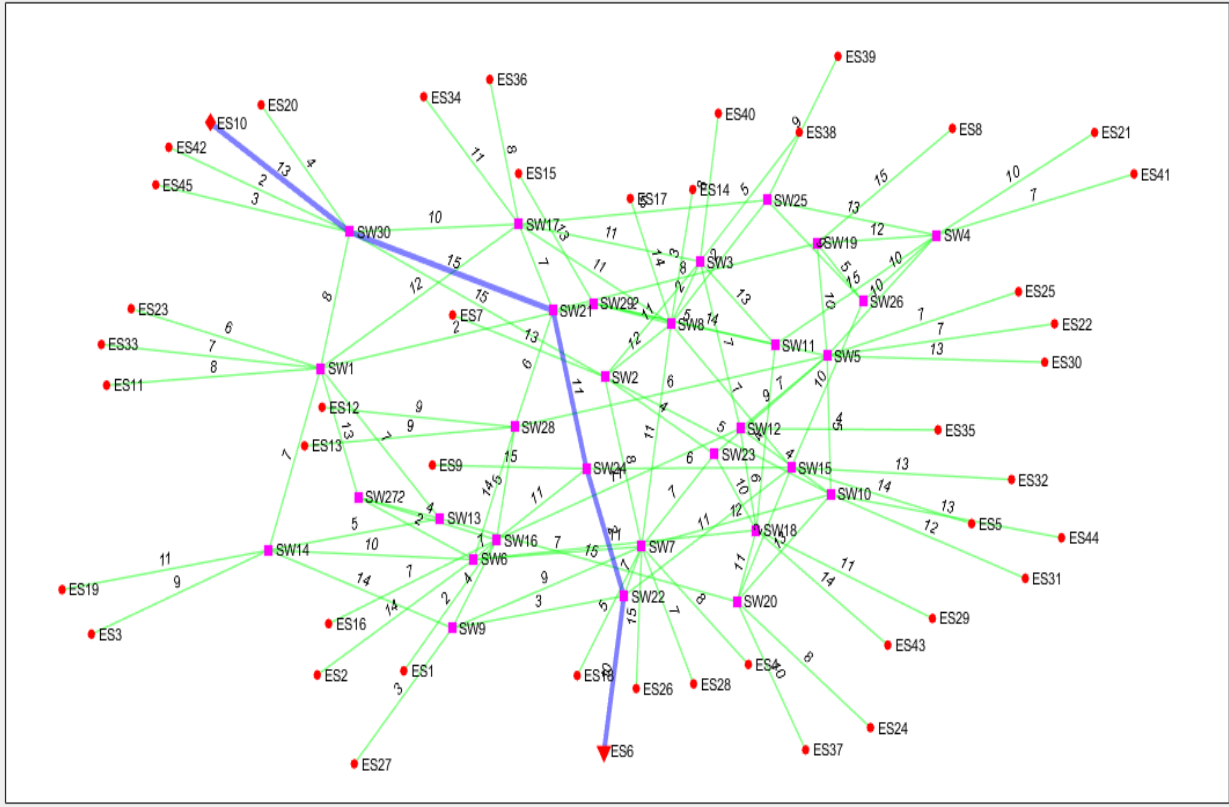
4.2. Bulgular ve Tartışma

Bu deneysel çalışmada, söz konusu deneyler aynı bilgisayar ortamında koşulmuş olup iki farklı tip algoritma ile elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Tablo 2’de kullanılan algoritmalar ve bunların bulmuş olduğu kurulumu yapılacak olan hatların ağırlıkları toplamı ile algoritmaların çözüm süreleri sunulmuştur. Buna göre önerilen algoritma, DSPA’ye göre 25 saniye daha kısa sürede çözüm üretmiştir. Ayrıca uyarlanmış genetik algoritma, DSPA’ye toplam hat ağırlığı olarak %5 yaklaşıma sağlamıştır. Böylece önerilen algoritma ile optimale yakın bir değer daha kısa sürede elde edilebileceği tespit edilmiştir. Sezgisel bir yöntem olan GA’nın en önemli özelliği taranması gereken uzay büyüdükçe kombinatoriyal yöntemlere nazaran çok daha hızlı çözüm üretebilmesidir. Buradan hareketle önerilen yöntem ağlarda karmaşıklık arttıkça üstünlüğünü gösterecektir. Bu bağlamda makalenin yazıldığı zaman itibariyle literatürde bu konu üzerine tek yayın olması sebebiyle araştırmacıların başvurabileceği bir kaynak olacaktır.

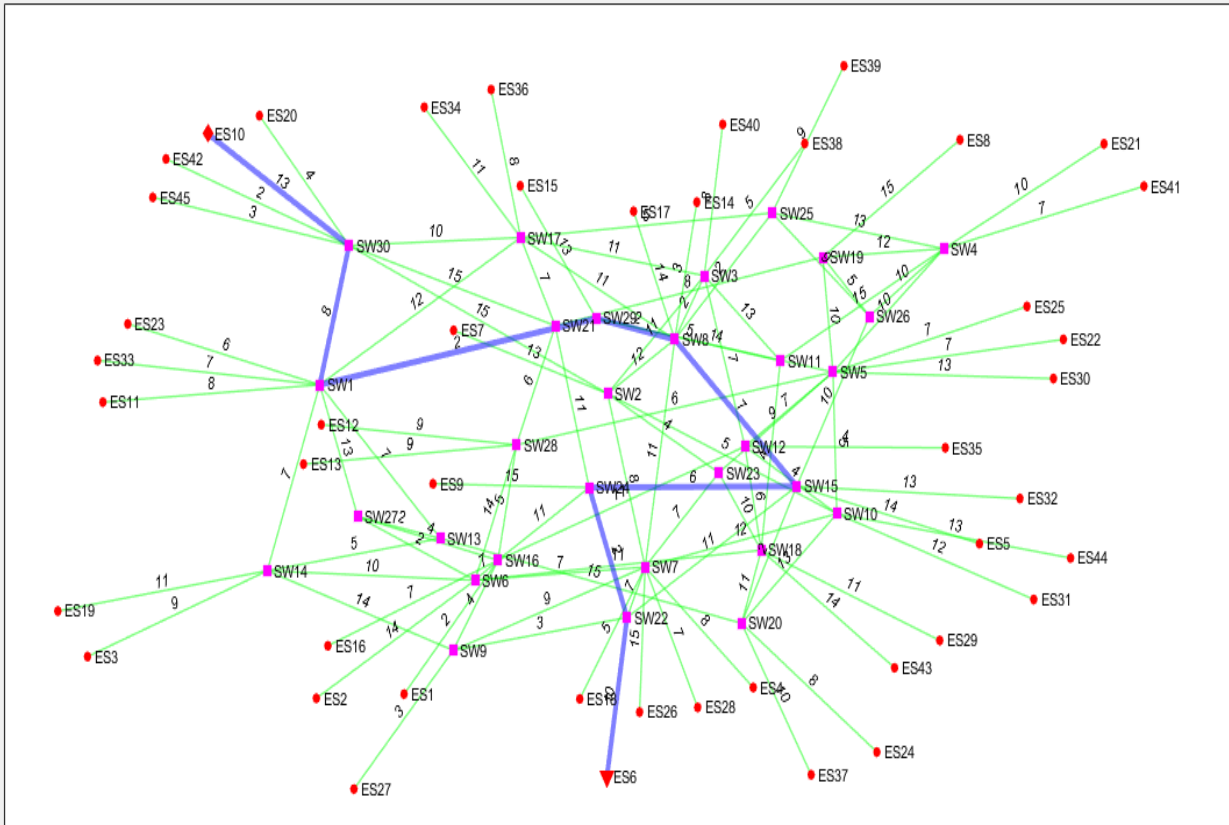
Tablo 2. DSPA ve önerilen algoritmanın çözüm süresi ve toplam hat ağırlıkları karşılaştırması.

Algoritma	Çözüm Süresi(sn)	Kullanılan Toplam Ağırlığı(kg)
Dijkstra’s Shortest Path	111.7	166.7
Uyarlanmış GA	86.369	175.5

Algoritmalar arasında yönlendirmelerin uygunluk değerleri yönünden kıyaslama yapıldığında önerilen uyarlanmış genetik algoritmanın DSPA’ye kıyasla en iyi yönlendirme yaptığı Kaynak US’u 10 (ES10), Hedef US’u 6 (ES6) olan 47’nci SB’nin yönlendirmeleri Şekil 6 (a) ve (b)’de sunulmuştur. Şekil 6 (a)’da gösterilen önerilen algoritmanın yönlendirmede kullandığı düğüm anahtarları sırasıyla “30,21,24,22”, hatlar arası ağırlık değerleri sırasıyla “15,11,2” olup 4 düğüm anahtarı atlamasıyla toplamda 28 birimlik ağırlıkla kaynaktan hedefe ulaşılmıştır. Buna karşın Şekil 6 (b)’de DSPA ile elde edilen yönlendirmenin ziyaret ettiği düğüm anahtarları sırasıyla “30,1,29,8,15,24,22”, hatlar arası ağırlık değerleri sırasıyla “8,2,9,2,7,6,2” olup 7 düğüm atlamasıyla toplamda 36 birimlik ağırlıkla kaynaktan hedefe iletim sağlanmıştır. Anılan örnekte önerilen algoritma ağırlıkta %22.2, düğüm atlama sayısında ise %42.8 daha etkin sonuç ürettiği gözlemlenmiştir.



(a)

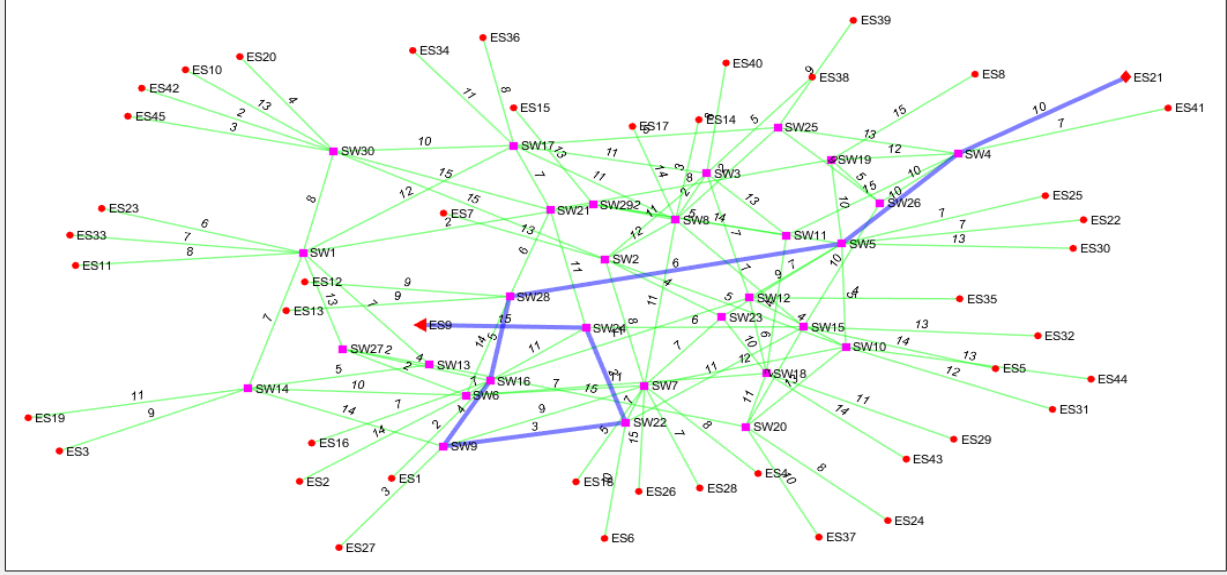


(b)

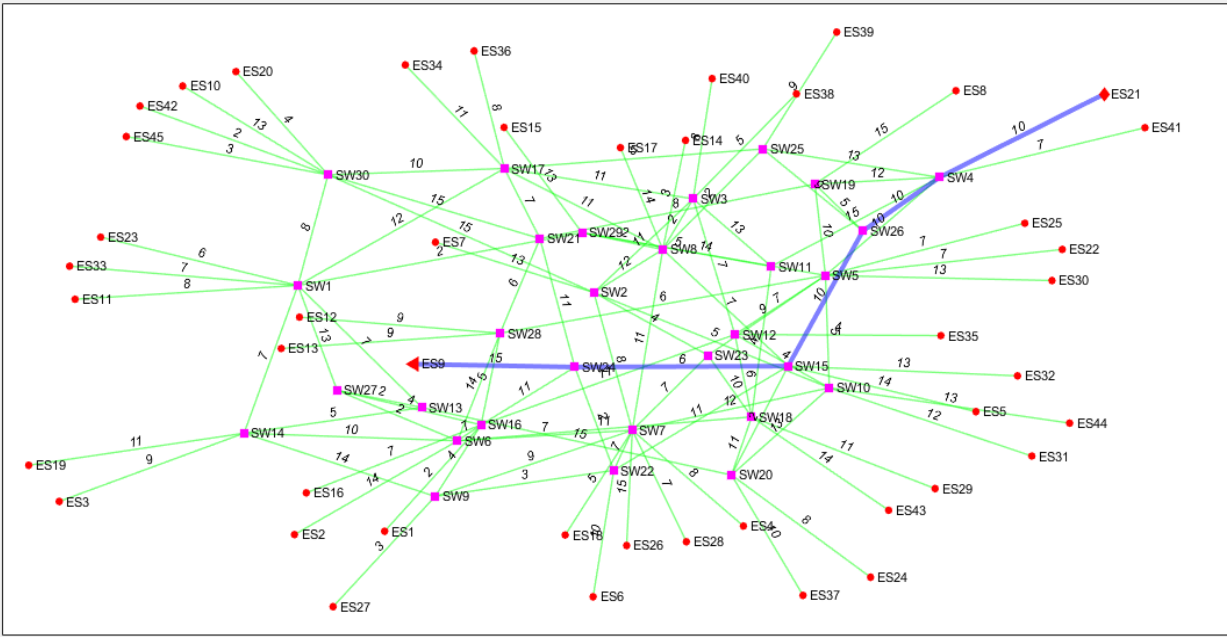
Şekil 6. Uyarlanmış genetik algoritmanın, DSPA'ye göre elde edilmiş en iyi yönlendirmesi

Önerilen uyarlanmış genetik algoritmanın DSPA'ye kıyasla en kötü yönlendirme yaptığı Kaynak US'u 21 (ES21), Hedef US'u 9 (ES9) olan 46'ncı SB'nin yönlendirmeleri Şekil 7 (a) ve (b)'de

sunulmuştur. Şekil 7 (a)'da gösterilen önerilen algoritmanın yönlendirmede kullandığı düğüm anahtarları sırasıyla “4,5,28,16,9,22,24”, hatlar arası ağırlık değerleri sırasıyla “10,6,5,4,3,2” olup 7 düğüm anahtarı atlamasıyla toplamda 30 birimlik ağırlıkla kaynaktan hedefe ulaşılmıştır. Buna karşın Şekil 7 (b)'de DSPA ile elde edilen yönlendirmenin ziyaret ettiği düğüm anahtarları sırasıyla “4,26,15,24”, hatlar arası ağırlık değerleri sırasıyla “10,10,6” olup 4 düğüm atlamasıyla toplamda 26 birimlik ağırlıkla kaynaktan hedefe iletim sağlanmıştır. En kötü sonucun elde edildiği bu örnekte önerilen algoritma ağırlıkta %13.3, düğüm atlama sayısında ise %42.8 daha kötü sonuç ürettiği gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7. Uyarlanmış genetik algoritmanın, DSPA'ye göre elde edilmiş en kötü yönlendirmesi

Buradan hareketle çözüm süresinde feragat etmek kaydıyla Tablo 1'de sunulan parametreler değiştirilerek daha optimal sonuçlar elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Benzer şekilde optimalden uzaklaştıkça da çözüm süresi kısaltılabilmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, karmaşık AFDX ağlarında optimal VL statik yollarını oluşturmak için uyarlanmış bir Genetik Optimizasyon Algoritması önerilmiştir. Söz konusu uyarlama ağırlık kısıtına bağlı olarak Sanal Bağlantıların statik yönlendirmelerini oluşturmak için geliştirilmiştir. Sunulan algoritmaya ilave olarak karşılaştırma yapabilmek amacıyla Dijkstra's Shortest Path Algoritmasıyla (DSPA) da aynı deneyler koşulmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre önermiş olduğumuz algoritma DSPA'e göre daha kısa sürede çözüm üretebildiğini ispatlamıştır. Ayrıca yapmış olduğumuz çalışmada sunulan uyarlanmış genetik algoritma için belirtmiş olduğumuz parametrelerde yapılacak değişikliklerle optimale daha yakın sonuçlar elde edilebileceği anlaşılmaktadır. İlaveten ağ yapısında komplekslik arttıkça GA'nın doğası gereği bütün çözüm uzayını taramayacağı için kombinatorial ve geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede daha etkin sonuçlar üreteceği değerlendirilmektedir.

Optimale yakın sonuç üreten bir yapay zeka optimizasyon yöntemi olan Genetik Algoritmaya yapılan uyarlamalarla elde edilen tekniğin aviyonik endüstrisinde pratik uygulama değerine sahip olduğunu deneysel benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir.

Bu çalışmanın geliştirilmesi ve literatüre katkı sağlanabilmesi maksadıyla düğüm atlama sayısı, band genişliği kullanımı gibi kısıtlar eklenerek problemin çözümü için diğer diğer yapay zeka optimizasyon yöntemlerinin sonuçlarının da araştırılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Çalışmanın deneysel benzetim uygulama çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan alt yapının sağlanmasına yönelik vermiş oldukları katkılar adına HAVELSAN A.Ş.'ye teşekkür ederiz. Bu çalışma Nişantaşı Üniversitesi Bilgi Teknolojileri Bölümü Yüksek Lisans Tezi çalışması kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında verdiği destekten ötürü ayrıca Akdeniz Üniversitesi'ne de teşekkür ederiz.

Yazar(lar)ın Katkıları

Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. ARINC 429, "ARINC specification 429 part 1-17", (2014).
- [2]. MIL-STD-1553C, "Digital time division command/response multiplex data bus", (2018).
- [3]. DO-297, "Integrated modular avionics (IMA) development guidance and certification considerations", (2005).
- [4]. Zimmermann H., "OSI reference model-the ISO model of architecture for open systems interconnection", *IEEE Transactions on Communications*, 1980, 28(4): 425-432.
- [5]. ARINC 664 P7, "ARINC specification 664 P7-1", (2006).
- [6]. L42D1515051901 , "AFDX switch detailed functional specification", (2010).
- [7]. Kersken H. P., Schreiber A., Martin S., Michael F., Regine A., Post P., Wolf K., Beckert A., Gerholt T., Heinrich R. and Kügeler E., "AMANDA - A distributed system for aircraft design", *Euro-Par 2000 Parallel Processing*, Germany, 1315-1322, (2000).

- [8]. Cheng L., Feng H., Tong W. and Li Z., "A routing algorithm of virtual link for avionics full duplex switched ethernet network", *Electronics Optics & Control*, 2010, 17(12): 20-24.
- [9]. Liu C., Li H., He F. and Lu G., "A routing algorithm of AFDX network based on trajectory approach", *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2012, 38(12):1587-1595.
- [10]. Sheikh A. A., Brun O., Chéramy M. and Hladik P. E., "Optimal design of virtual links in AFDX networks", *Real-Time Syst*, 2013, 49: 308–336.
- [11]. Zheng X., Huang N., Zhang Y. and Li X., "Performability optimization design of virtual links in AFDX networks", *Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, USA , 1-6, (2016).
- [12]. Ren T., Zhu Z., Dimirovski G. M., Gao Z. H., Sun X. H. and Yu H., " A new pipe routing method for aero-engines based on genetic algorithm", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 2014, 228(3):424-434.
- [13]. Sui H. and Niu W., Branch-pipe-routing approach for ships using improved genetic algorithm, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 2016, 11: 316–323.
- [14]. Dong Z. and Bian X., Ship pipe route design using improved A* algorithm and genetic algorithm, *IEEE Access*, 2020, 8: 153273-153296.
- [15]. Conru A. B., "A genetic approach to the cable harness routing problem", *Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation. IEEE World Congress on Computational Intelligence*, USA, 200-205, (1994).
- [16]. Tanomaru J. and Oka K., "Automatic wire routing using a customized genetic algorithm", *1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics Intelligent Systems for the 21st Century*, Canada, 2971-2976, (1995).
- [17]. Yoon C. P. and Ryou H. B., "A genetic algorithm for the routing protocol design of wireless Mesh Networks", *2011 International Conference on Information Science and Applications*, Korea (South), 1-6, (2011).
- [18]. Díaz-Báez B., Pinto-Roa D. P. and Von Lücken C., "Robust network design under uncertain traffic an approach based on Genetic Algorithm", *2013 XXXIX Latin American Computing Conference (CLEI)*, Latin America, 1-8, (2013).
- [19]. Nair G.T. and Sooda K., "Application of genetic algorithm on quality graded networks for intelligent routing", *2011 World Congress on Information and Communication Technologies*, India, 558-563, (2011).
- [20]. Huawei J., Shuailing Y. and Gaoping W., "Study of an improved genetic algorithm for ad hoc network", *2009 IEEE International Symposium on IT in Medicine & Education*, China , 293-296, (2009).
- [21]. Patel J. and El-Ocla H., "Energy efficient routing protocol in sensor networks using genetic algorithm", *Sensors*, 2021, 21(21): 7060-7081.
- [22]. Li X., Huang N. and Zhao F., "A genetic algorithm based configuration optimization method for AFDX", *2014 10th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS)*, China,440-444, (2014).
- [23]. Akpolat E. C., Gemici Ö. F., Demir M. S., Hökelek İ., Coleri S. and Çırpan H. A., "Genetic algorithm based ARINC 664 mixed criticality optimization using network calculus", *2021 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, USA, 1-6, (2021).
- [24]. Shu-Xi W., "The improved Dijkstra's shortest path algorithm and its application", *Procedia Engineering*, 2012, 29, 1186-1190.