

Belirsiz Verici Gücünde RF Sinyal Yayan Kaynakların İnsansız Hava Araçları ile Geniş Ölçekli Ortamda Konumunun Tespiti

Localization of RF Emitting Targets with Multiple Unmanned Aerial Vehicles in Large Scale Environments with Uncertain Transmitter Power

*Mehmet Hasanzade, Ömer Herekoğlu, Yunus Biçer, N. Kemal Üre,
Emre Koyuncu, Ramazan Yeniçeri, Gökhan İnalhan*

Havacılık ve Uzay Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (ITU ARC)
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

abdullahmeh@itu.edu.tr, herekoglul6@itu.edu.tr, biceryu@itu.edu.tr
ure@itu.edu.tr, emre.koyuncu@itu.edu.tr, yenicerir@itu.edu.tr
inalhan@itu.edu.tr

Özetçe

Günümüzde RF sinyal yayan kaynakların farklı ölçüm metotları ile konumlarının belirlenmesi oldukça revaçta bir konudur. Bununla birlikte hali hazırdaki yaklaşımlar, kaynağın verici gücünün belirsiz olduğu durumlarda ve sinyal gücünün gürültüsü nedeniyle geniş ölçekli ortamlarda verimsiz hale gelmektedir. Bu çalışmada RF sinyal yayan kaynakların geniş ölçekli ortamlar ve sinyal verici gücünün net olarak bilinemediği durumlar için RF sinyalinin alınan sinyal gücü (RSS) değerleri kullanılarak insansız hava araçları ile konum tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, olası sinyal verici güçlerinden yola çıkılarak RF kaynağın sinyal gücünün yapay sinir ağı kullanılarak belirlendiği ve alınan sinyal gücün gürültüsünün konum tespiti üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla Genişletilmiş Kalman Filtresi'nin (EKF) uygulandığı konum belirleme mimarisi geliştirilmiştir. Geliştirilen mimari, 3 insansız hava aracı ve 5 km × 5 km alanda yazılım benzetimli test yöntemiyle simüle edilerek ortalama 28.3 m hata ile hedef tespit edilmiştir.

Abstract

Nowadays, it is quite popular to determine the position of RF signal emitting sources with different measurement methods. However, standard approaches become inefficient due to noise of the signal power in some cases, such as uncertain transmitter power and large search environment. In this study, the localization of RF signal sources is carried out using the received signal strength (RSS) with Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in large scale environments with uncertain transmitter power. For this purpose, the localization architecture is developed using artificial neural network in order to determine the transmitter power and Extended Kalman Filter (EKF) in order to reduce the noise effect on received signal power on localization. The developed architecture is simulated by using software-in-the-loop method (SITL) with 3 UAVs in 5 km × 5 km searching area with average distance error of 28.3 m.

1. Giriş

İnsansız Hava Araçlarının (İHA) yıllar içinde giderek artan özerklik, menzil ve maliyet verimlilikleri sayesinde, arama ve kurtarma operasyonlarında kullanımları hem sivil [1, 2] hem de askeri alanlardaki [7] uygulamalarda oldukça önem kazanmaktadır. En yaygın operasyon senaryolarından biri, hedefin bir radyo frekansı (RF) sinyali yayınladığı ve İHA'ların bu sinyali ölçüp işleyerek hedefin konumunu bulduğu senaryolardır [3]. Bu konu önceki çalışmalarda belirli ölçüde ele alınsa da hali hazırdaki algoritmik yetkinlikler ve donanım kısıtları nedeniyle etkili çözümleri engelleyen durumlar bulunmaktadır. Bu tarz problemlerden biri, hedefin verici gücünün bilinmediği veya belirsiz olduğu dolayısıyla da hedef lokalizasyonunu zorlaştıran problemlerdir. Buna ek olarak, bazı durumlarda sinyalin yönünü tespit etmek için gerekli donanımlar uygun olamayacağı için İHA'lar hedefin lokalizasyonu için sadece sinyal gücünü kullanmak zorunda kalabilirler. Ayrıca RF kaynaklarının geniş ölçekli ortamlarda lokalizasyonu, alınan sinyal gücünün (RSS) uzak mesafelerde gürültü özelliklerinin çeşitliliği nedeniyle ek zorluklar ortaya koymaktadır.

Literatürde RF hedeflerinin lokalizasyonu konusunda; konum tahmini, rota planlaması ve görüş hattı olmayan (NLOS) durumlar gibi pek çok zorluk için bazı çözümler geliştirilmiştir. İHA'lar ile RF sinyal yayan hedeflerin görüş hattı olmayan koşullarda tespiti için gözlem modeli geliştirilmesi konusunda çalışmalar mevcuttur [4]. Gelişmekte olan otonom kontrol metotları ile algılayıcı platformlarını kontrol eden ve hedefin etkili lokalizasyonu için uçuş rotalarını optimize eden, pseudo-Doppler adında bir RF yön bulucu geliştirilmiştir [5]. İletişim kısıtları içeren lokalizasyon problemleri dahilinde, çoklu iletişim ağlarında güvenilirliği sağlamak amacıyla bilgiye dayalı rotalar üreten algoritmalar geliştirilmiştir [6]. RF yön bulucu sensörler içeren ve birlikte çalışan çoklu İHA sistemlerinin, RF sinyaller yayan hareketli yer hedeflerini tespiti için geliştirilen kontrol mimarisi [7], geniş ölçekli ortam üzerinde büyük İHA takımları ile Bayesian filtre kullanılarak RF hedeflerin tahmini konumlarının tespiti [8] gibi çalışmalar da bulunmaktadır. Yine

benzer şekilde, varış açısı (AoA) sensörleri kullanılarak RF hedeflerin tespiti için kontrol metotları [9, 12] ve farklı özelliklerdeki çoklu İHA sistemleri için yerleşik sensör verilerinin Kalman filtresi ile işlenmesi sonucunda RF sinyal yayan hedeflerin konum tespiti [10] bu konuda yapılan bazı çalışmalardan biridir. Yukarıda bahsedilen literatürdeki çalışmaların tümünde RF sinyalin verici gücünün bilindiği kabul edilmiş ve direkt lokalizasyon algoritmaları üzerine çalışmalar yapılmıştır.

[11]'de önerilen çalışmamızda, RF sinyal gücü kesin olarak bilinmeden, etkili bir şekilde lokalizasyona imkan veren çoklu İHA hedef konum belirleme mimarisi geliştirilmiştir. Gerçek verici gücü ile tahmin edilen verici gücü arasındaki ilişkinin modellenmesi amacıyla sinyal verisi analiz edilmiş ve RF hedefin verici gücünün sınıflandırılması amacıyla sinir ağı oluşturulmuştur. Ardından, alınan sinyal gücü (RSS) üzerindeki gürültüden kaynaklanan hataların elimine edilmesi amacıyla trilaterasyon ve genişletilmiş Kalman filtresi birlikte kullanılarak geniş ölçekli ortamda hedefin konumunun tespiti sağlanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda 3 İHA ile 10 km × 10 km'lik alanda rastgele yerleştirilmiş hedefin konumunu 23.8 m'ye kadar inen ortalama hata değerinde tespit edebilen bir kontrol ve lokalizasyon sistemi geliştirilmiştir.

Bu bildiride, gerçek test sistemine yakınsayabilmek için kullanılması planlanan yazılımlar ve geliştirme ortamları hazırlanmıştır. Tüm sistem yazılımsal benzetim sistemine geçirilmiş ve test edilmiştir. Telsizlerin ve kullanılması planlanan dijital alıcı sisteminin ikisinde de monopul anten kullanıldığı kabulü ile yazılımsal benzetim ortamında üretilen RF sinyaline uygun anten modeli eklenmiş ve dijital alıcı ile yapılan birincil testler sonucu gözlemlenen gürültü genliğine bağlı olarak yazılımsal benzetim ortamında RF sinyal üretimi güncellenmiştir. Tüm araçların XPlane simülasyon ortamında uçurulduğu ve ArduPlane otopilot yazılımının bu uçakları kontrol ettiği bir yazılımsal benzetim ortamı oluşturulmuştur. Matlab/SIMULINK ortamında geliştirilen yer istasyonu ve planlayıcı algoritması ile oluşturulan ortam tamamlanarak tüm bileşenlerin entegrasyonu sağlanmıştır. Geliştirilen tüm sistemler, ileride yapılacak dış ortam testlerinde de kullanılabilir şekilde geliştirilmiştir. Bu testler doğrultusunda da, RF sinyal kaynağının lokalizasyonu sırasında uçakların yapması istenilen dairesel uçuşun optimal yarıçapı bulunabilmesi için testler tekrarlanmış ve Monte Carlo simülasyonu ile sonuçlar gösterilmiştir.

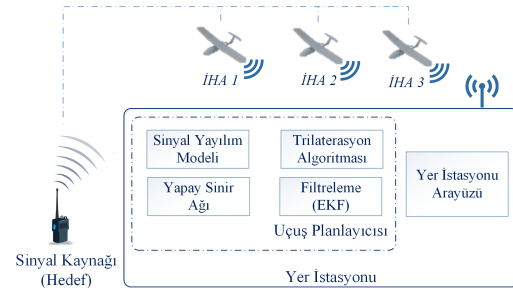
Bildirinin geri kalanında; 2. bölümde sistem mimarisi ve problem koşulları, 3. bölümde lokalizasyon algoritmasının detayları, 4. bölümde tahmin algoritmalarının uygulanması verilmiştir. Son olarak 5. bölümde yazılım benzetimli test sonuçları ve 6. bölümde sonuçlar hakkında görüşler ve gelecek çalışmalara dair bilgiler verilmiştir.

2. Problem Koşulları ve Sistem Mimarisi

2.1. Problem Koşulları ve Varsayımlar

Çoklu İHA sistemi kullanılarak RF sinyal yayan hedefin konumunun tespiti probleminde şu varsayımlarda bulunulmuştur: Alan 2 boyutlu kabul edilmiş ve hedefin konumu 2 boyutta belirlenmiştir. RF hedefin verici gücü kesin olarak bilinmemekle birlikte olası sinyal gücü değerlerinin sınırlı sayıda olduğu kabul edilmiştir (örnek olarak 10 mW, 100 mW ve 1 W). Ayrıca,

sinyal kaynağının 136 MHz - 150 MHz aralığında dar bantta yayın yapan bir el telsizi olduğu, her 10 sn'de 7 sn yayın yaptığı ve hem sinyal kaynağının hem de onu tespit için kullanılan uçakların yönsüz monopul antenlerle donatıldığı kabul edilmiştir. İHA'ların sadece alınan sinyal gücünü ölçtükleri ve sinyalde başka herhangi bir anlamlı bilgi aranmadığı kabul edilmiştir ve İHA'ların üzerinde yerleşik olarak hiçbir yön bulucu donanım bulunmamaktadır. Ayrıca, İHA'lar ile hedef arasındaki görüş hattının (LOS) daima sağlandığı kabul edilmiştir. Veri kaybı olmadan iletişim sağlandığı kabul edilmiştir. RF sinyalinin alımı konusunda belirli mesafe için kısıtlar bulunmaktadır. Her İHA belirli ve sabit bir yükseklikte uçmaktadır.



Şekil 1: 3 İHA için sistem mimarisi.

2.2. Sistem Mimarisi

Uçaklara alan en hızlı şekilde kapsayabilecekleri, önceden hesaplanmış bir rota girilmektedir. Uçaklar sinyal yayılım modeli üzerinden sinyal alması sağlanır ve ilk uçak sinyal almaya başladığı zaman diğer uçaklar ona doğru yönelir. Diğer uçakların da sinyali almaya başlaması ile yapay sinir ağı algoritması, güç sınıflandırmasını gerçekleştirir. Doğru güç değeri üzerinden trilaterasyon algoritması ilk konum değerini hesaplar ve bu değer ile EKF gerçek konumu tahmin etmeye başlar. Bölüm 5'te detaylı olarak verilen karar mekanizması ile de konum bulunmuş olur. Belirtilen sistem mimarisi Şekil 1'de sunulmuştur.

3. Verici Gücü Belirli Olmayan Hedefin Konumunun Tespiti

Bu bölüm, ölçülen RF sinyal gücünün verilen verici gücüne bağlı olarak uzaklık değerlerine dönüştürülmesinin, trilaterasyon algoritmasının ve verici gücünün tespiti için sinir ağı sınıflandırmasının detaylarını içermektedir.

3.1. Sinyal Yayılım Modeli

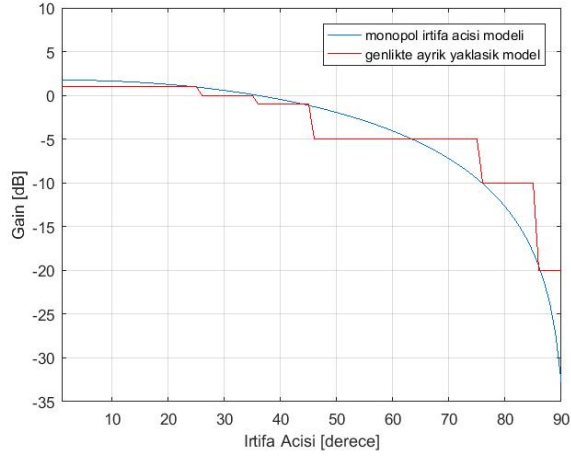
Alınan sinyal gücünden konum tespitine gidebilmek için, sinyal gücünün İHA'lar ile hedef arasındaki uzaklık verisine dönüştürülmesi amacıyla serbest uzay yayılım modelini temel alan Friis İletim Denklemi kullanılmıştır [13].

$$d = \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{4\pi^2 P_r}}, \quad (1)$$

Denklemde, d alıcı ile verici arasındaki metre cinsinden uzaklık, P_t Watt cinsinden verici gücü, P_r Watt cinsinden alıcı gücü,

λ metre cinsinden dalga boyu, G_t verici anten kazancı ve G_r alıcı anten kazancıdır.

Serbest uzay yayılım modeli, yansıma ve gürültü belirsizlikleri gibi etkileri modellemediğinden sinyal yayılımını tümüyle temsil etmez [14]. Bu çalışmada, bahsedilen etkiler Friis denkleminde hesaplanan uzaklık değerlerine yüksek genliğe sahip toplamsal beyaz Gauss gürültüsü (AWGN) olarak eklenmiştir.



Şekil 2: Anten kazancı - irtifa açısı ilişkisi grafiği.

Çalışmada, hem sinyal kaynağının hem de onu tespit için kullanılan uçakların yönsüz monopol antenlerle donatıldığı kabul edilir. Hedefin anteni yer normali doğrultusunda, uçakların anteni ise yer çekimi doğrultusundadır. Gerçekkte uçağın irtifa dümeni ve yunuslama hareketleri esnasında gövdesine sabitlenen antenin de yönelimi değişecektir. Fakat, bu çalışmada uçak antenlerinin yönelimlerinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada kullanılan antenlerin modellenmesi için MATLAB Antenna Toolbox'tan yararlanılmıştır. Kullanılan antenlerin fiziksel özellikleri girilerek, monopol antenin yönlü kazancı azimut açısı ve irtifa açısının bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Yönsüz monopol anten, her azimut açısında aynı kazançta yayın yapmaktadır. Lakin, irtifa açısına doğrusal olmayan bir ilişki ile bağlıdır. Bu ilişki Şekil 2'de gösterilmiştir. Simülasyon ortamında ise bu nonlinear fonksiyon genlikte ayrıklaştırılarak basit bir yaklaşıma gidilmiştir. Ayrıklaştırma sonucunda kullanılan fonksiyon da aynı figürde gösterilmektedir. Bu model, hem yerdeki hedef telsiz anteni hem de uçaktaki alıcı anteni için geçerlidir.

3.2. Lokalizasyon Yöntemi ve Verici Gücünün Sınıflandırılması

[11]'de belirtildiği gibi uzaklıkların her verici gücü için hesaplanmasının ardından, verici gücündeki değişiminin lokalizasyon üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla trilaterasyon algoritması çalıştırılır. İHA'ların konum bilgileri 3 referans nokta olarak alınarak bu noktaların kullanılabilmesi için kartezyen eksenleri yeniden düzenlenerek İHA'lardan birinin merkezde, bir diğzerinin x ekseninde olduğu yeni bir eksen takımı tanımlanır.

Trilaterasyon algoritmasının adımları aşağıda verilmiştir. Denklem (2)-(11)'de, \mathbf{P}_k , İHA $_k$ 'nin konum vektörü ve D_k , İHA $_k$ ile hedef arasındaki uzaklıktır ($k = 1, 2, 3$). \mathbf{e}_x , \mathbf{e}_y ve \mathbf{e}_z baz vektörleri, algoritmanın çıktısı olarak hedefin tahmini konumu ise \mathbf{P}_{target} olmak üzere;

$$\mathbf{e}_x = (\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1) / \|\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1\|, \quad (2)$$

$$a = \mathbf{e}_x(\mathbf{P}_3 - \mathbf{P}_1), \quad (3)$$

$$\mathbf{e}_y = (\mathbf{P}_3 - \mathbf{P}_1 - a\mathbf{e}_x) / \|\mathbf{P}_3 - \mathbf{P}_1 - a\mathbf{e}_x\|, \quad (4)$$

$$\mathbf{e}_z = \mathbf{e}_x \times \mathbf{e}_y, \quad (5)$$

$$d = \|\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1\|, \quad (6)$$

$$b = \mathbf{e}_y(\mathbf{P}_3 - \mathbf{P}_1), \quad (7)$$

$$x_{new} = (D_1^2 - D_2^2 + d^2)/2d, \quad (8)$$

$$y_{new} = [(D_1^2 - D_3^2 + a^2 + b^2)/2b] - (ax_{new}/b), \quad (9)$$

$$z_{new} = \sqrt{|D_1^2 - x_{new}^2 - y_{new}^2|}, \quad (10)$$

$$\mathbf{P}_{target} = \mathbf{P}_1 + x_{new}\mathbf{e}_x + y_{new}\mathbf{e}_y + z_{new}\mathbf{e}_z \quad (11)$$

Bilinmeyen verici gücünün belirlenmesi problemi, farklı verici güçleri için yapılan analiz incelendiğinde verici gücünün uzaklık verilerindeki farklılıklardan tespit edilebileceği görülmüştür. Bu şekilde problem sınıflandırma problemi haline getirilmiş ve sınıflandırma probleminin yapay sinir ağları kullanılarak çözülebileceği gösterilmiştir. Her ölçüm adımında, İHA'lar ile hedef arasındaki hesaplanan uzaklıkların arasındaki farklar, sınıflandırıcı için temel özellik olarak kullanılmaktadır. Her verici gücü için uzaklık farkları belirgin değişimlere sahip oldukları için sinir ağının eğitim ve test aşamasında veri girdisi olarak tahmini konumlar arasındaki farklar seçilmiştir. Verici gücünün sınıflandırılmasının detayları önceki çalışmamızda verilmiştir [11].

4. Konum Tahmin ve Takip Algoritması

Sinyal gücü değerinin oldukça gürültülü olması nedeniyle, özellikle geniş ölçekli ortamlarda trilaterasyon belirli bir seviyeye kadar hedefin konumunu belirleyebilmektedir. Bu bölümde, hedefin tespit hatasını azaltan genişletilmiş Kalman filtresi yapısı önerilmektedir. Trilaterasyon sonucu kestirilen ilk tahmini konum, EKF'nin başlangıç koşulu olarak kullanılarak, filtreleme algoritması ile konum tahmin doğruluğunu artırmak amaçlanmıştır.

Hedefin hareketli olmadığı kabul edildiğinden, filtre durumları yalnızca hedefin konumunu içerir.

$$X_{k+1} = f_k(X_k) = AX_k, \quad (12)$$

burada, $X_k = [x_k, y_k, z_k]^T$ sistemin durum vektörünü kartezyen koordinatlarında temsil etmektedir. Ölçüm modeli hedefe göre İHA'ların konumlarını içermektedir. İHA konumları, üzerlerindeki yerleşik ataletsel sensörlerden ve GPS'ten elde edilmektedir.

$$r_k = \sqrt{(x_{uk} - x_k)^2 + (y_{uk} - y_k)^2 + (z_{uk} - z_k)^2}, \quad (13)$$

$x_{uk}, y_{uk}, z_{uk}, k$. İHA'nın konumu ve r_k, k . İHA ile RF hedefin arasındaki uzaklıktır. Bu denklem kullanılarak, Jacobian matrisi

aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$H_k = \begin{bmatrix} -\frac{(x_{u1}-x)}{r_1} & -\frac{(y_{u1}-y)}{r_1} & -\frac{(z_{u1}-z)}{r_1} \\ -\frac{(x_{u2}-x)}{r_2} & -\frac{(y_{u2}-y)}{r_2} & -\frac{(z_{u2}-z)}{r_2} \\ -\frac{(x_{u3}-x)}{r_3} & -\frac{(y_{u3}-y)}{r_3} & -\frac{(z_{u3}-z)}{r_3} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Ölçüm matrisi; $Z_{k+1} = [D_1, D_2, D_3]^T$ ve EKF güncelleme denklemi;

$$X_{k+1} = X_k + K_{k+1}[Z_{k+1} - H_{k+1}], \quad (15)$$

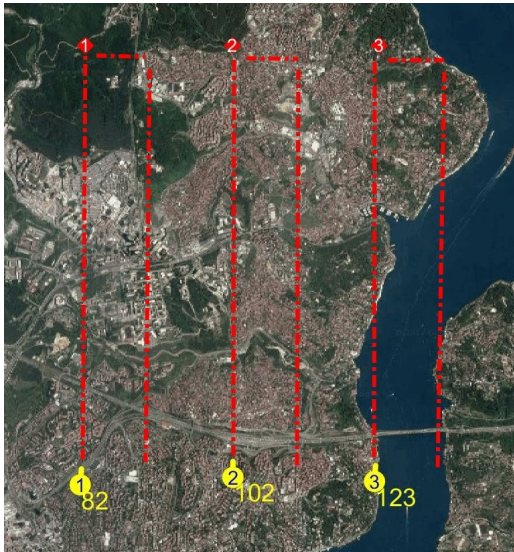
$$R_k = \begin{bmatrix} \sigma_{D_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{D_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{D_3}^2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

K_{k+1} , EKF denklemleri kullanılarak elde edilen kazanç matrisi, R_k , her uzaklığın önceden hesaplanan varyanslarını temsil eden $\sigma_{D_{uk}}^2$ 'dan hesaplanan ölçüm gürültüsünün kovaryans matrisidir [15]. Filtrenin başlangıç koşulu trilaterasyon algoritmasından elde edilmektedir.

Hedefin konumu belirli bir seviyede belirlendikten sonra, İHA'lar hedef etrafında dairesel uçuşa başlamaktadır. Dairesel uçuşun yarıçapı ise İHA dinamikleri ve kısıtları ile istenilen hassasiyete bağlı olarak önceden belirlenmektedir.

5. Yazılım Benzetimli Testler ve Sonuçları

Önerilen çalışmanın testleri iki şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 3 serbestlik dereceli sabit kanatlı uçak modelleri kullanılarak, Matlab/SIMULINK ortamında hazırlanan simülasyon ortamında test edilmiş, test sonuçları bir önceki çalışmamızda gösterilmiştir [11]. Dairesel uçuş yarıçapının, konumun tespit edilmesinde doğrudan bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle değişken dairesel uçuş yarıçaplarına bağlı olarak her belirlenen yarı çap için 150 örneklili Monte Carlo simülasyonu yapılmıştır.



Şekil 3: İHA'ların alanı taramak amacıyla belirlenen tarama rotaları.

Simülasyon başlangıcında, Şekil 3'te gösterildiği gibi, sabit bir rota oluşturulmuştur. Uçakların bu rotayı takip ederek RF sinyalini tespit etmesi amaçlanmıştır. Uçaklardan herhangi birinin sinyal algılaması durumunda trilaterasyon algoritması ve verici gücü sınıflandırma algoritması çalışır. Ardından tüm uçaklar sinyal almaya başladıkları durumda, EKF algoritması çalışmaya başlar ve başlangıç koşulu olarak da trilaterasyon algoritmasının ilk çıktısını kullanır. Bu şekilde tüm insansız hava araçları hedefe doğru yönlendirilip uygun dairesel uçuş yarıçapında uçuşlarını gerçekleştirirler. Bu farklı dairesel uçuş yarıçaplarında gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Tablo 1'de gösterilmektedir.

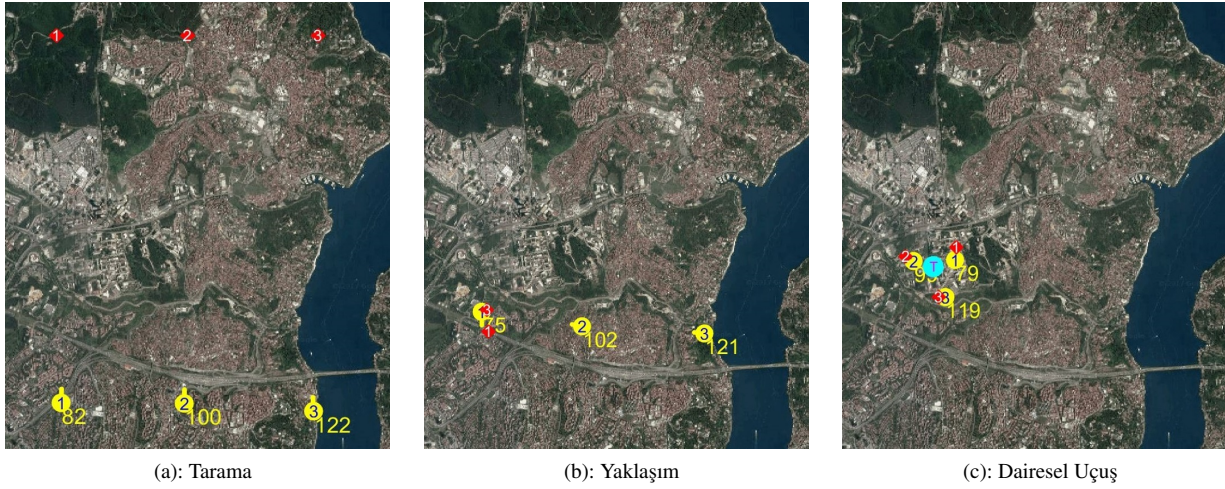
Tablo 1: Dairesel uçuş yarıçapı - ortalama tespit hatası değişimi.

| Dairesel uçuş yarıçapı (m) | Ortalama Tespit Hatası (m) |
|----------------------------|----------------------------|
| 800 | 57.3 |
| 700 | 52.3 |
| 600 | 42.8 |
| 500 | 36.1 |
| 400 | 28.3 |
| 350 | 32.2 |
| 250 | 39.3 |

Tablo 1'de görülebildiği üzere, dairesel uçuş yarıçapının, konum tespit performansına etkisi görülmektedir. 400 m dairesel uçuş yarıçapında maksimum performans alınabildiği gözlemlenmiştir. Gerçek testlerde kullanılması planlanan telsiz ve alıcı donanımlarının da etkileri göz önünde bulundurularak, optimum dairesel uçuş yarıçapının belirlenmesi sağlanacaktır. Bu değerlerin bulunmasında, uçağın yapısal ve aerodinamik sınırları da göz önüne alınacaktır. Sonuç olarak 5 km × 5 km'lik bir arama alanında hedefin ortalama tespit hatası 28.3 m'ye kadar düşürülmüştür.

Uçakların 100 m irtifa ve en küçük 400 m yarıçap ile dairesel uçuş yaptığını göz önüne bulduğumuzda, maksimum irtifa açısı, $\alpha_{mi} = \arctan(100/400) = 14.036^\circ$ olmaktadır. Anten modelinde, 0 – 14° aralığı tamamen 1 dB kazanç aralığında kalmaktadır. Buna göre kullanılan antenin güce dayalı trilaterasyon ile konum tespitinde bozucu bir etkisi olmamaktadır. Ancak, simülasyonda ve gerçek testlerde uçakların sabit ilk tarama rotalarını icra ederken hedef ile arasındaki irtifa açısının 14°'den büyük olan bölgelerde seyretmesi muhtemeldir. Anten kazancının -1 dB'den düşük olduğu irtifa açısı aralığı 45 – 90° olduğundan, 100 m irtifada uçan bir uçak için hedefin izdüşümü merkezli 100 m yarıçaplı dairesel bölgede ancak kazanç -1 dB'nin altındadır. Simülasyonda 15 m/s hızla uçan uçaklar için sinyal şiddetinin hızla azalıp tekrar artacağı bu bölge için uçuş süresi en fazla 6 sn olacaktır. Üstelik, bu bölge uçuşu ayrılmış 5 km × 5 km'lik alanın %0.126'sına denk gelmektedir. Simülasyonlarda hedefin konumu uniform dağılıma sahip rastgele bir süreç olarak tanımlandığı için, bahsedilen düşük sinyal bölgesinin tarama esnasında karşılaşıma olasılığı düşüktür.

Örnek bir çoklu hedef tespiti senaryosunda, sabit 20 m/s hızla uçan İHA'lar için arama alanında toplam 4 hedefe kadar hedeflerin tespit süreleri 1000 örneklili Monte Carlo simülasyonu sonucunda Şekil 5'deki gibi elde edilmiştir. Sonuçlarda mavi sütunlar her bir hedefin ortalama bulunma sürelerini, kırmızı çizgiler ise her bir hedef için tespit süresindeki standart sapmayı



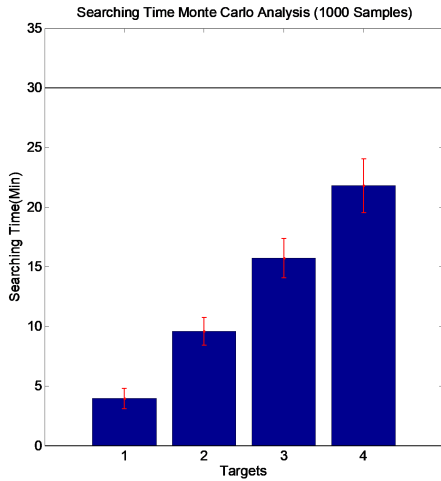
(a): Tarama

(b): Yaklaşım

(c): Dairesel Uçuş

Şekil 4: Konum belirleme testi sonuçları. Şekillerde sarı cisimler İHA'ların konumunu ve irtifasını, kırmızı noktalar her İHA'nın gitmeye çalıştığı konumu, mavi ise tespit edilen hedefi temsil etmektedir.

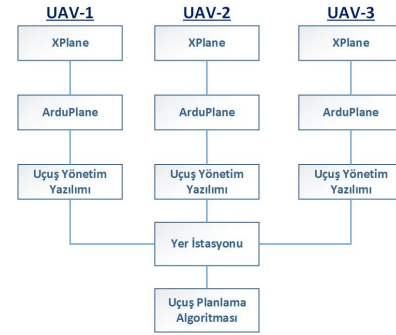
ve siyah çizgi ise 4 hedefin aktif olacağı toplam (maksimum) süreyi göstermektedir. İHA'ların maksimum 30 dk havada kalma kısıt kabul edilerek sonuçlar incelendiğinde 4 hedefin İHA'ların normal uçuş şartlarında tespit edilebileceği görülebilmektedir.



Şekil 5: Konum tespiti süreleri için 1000 örnekli Monte Carlo simülasyonu sonuçları.

Çalışmanın ikinci test aşamasında Şekil 6'te gösterilen yazılımsal benzetim sistemi kurulmuştur. Bu sistem içerisinde uçakların benzetimi için XPlane simülasyon programı kullanılmıştır. 3 bilgisayarda XPlane simütörü kooperatif çalışırken, simülasyon içerisindeki uçağın otomatik kontrolünü Pixhawk Arduplane otopilou sağlar. Xplane ile Arduplane aralarında UDP haberleşmesi kurarken, yüksek seviye rota planlama ve kontrolü için Python dilinde geliştirilen "Uçuş Yönetim Yazılımı" kullanılmıştır. Bu yazılım aynı zamanda, Matlab/SIMULINK ortamında hazırladığımız arayüz ile UDP üzerinden haberleşmektedirler. Arayüz ve test sistemi Şekil 7'de

gösterilmektedir.



Şekil 6: Yazılım benzetimli test diyagramı.



Şekil 7: Yazılım benzetimli test ortamı.

Yer isyasyonu yazılımı üzerinde iki farklı mod bulunmaktadır. Bu modlardan biri Arayüz modu olup, bu mod sayesinde arayüz üzerinden her bir uçağa ayrı ayrı komut verilebilmektedir. Diğer mod ise uçakların kontrolünün direk olarak "Uçuş Planlama Algoritması"na verildiği durumdur. Uçuş planlama algoritması, Matlab/SIMULINK ortamında hazırlanmış olup,

uçakların sinyal alıp almama durumunda yapması gereken aksiyonlar ve akış tanımlanmıştır. Algoritma içerisinde tüm uçaklar sinyal aldığı zaman da EKF ile iyileştirilmiş konum bulma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Şekil 4'de yazılımsal benzetim sonuçları gösterilmektedir. Şekil 4(a)'da pasif rota uçuşu ile başlangıç safhası, Şekil 4(b)'de ilk uçak sinyal almaya başladığı zaman diğer uçakların da oraya doğru yaklaşımı safhası ve Şekil 4(c)'de EKF sonucu bulunan konum etrafında dairesel uçuş gerçekleştirme safhası gösterilmiştir. EKF sonucu bulunması istenilen sinyalin bulunduğu kararını varabilmek için hesaplanan son 20 konumun ortalaması ve standart sapmasına bakılmaktadır. Her yeni veride güncellenen bu son 20 konum değeri, ortalamaları alınarak ortalama konum tespiti gerçekleştirilir. Bu ortalama konum üzerinden de dizide bulunan güncel son 20 konumun standart sapması alınır. Eğer bu standart sapma değeri, son 20 konum boyunca 50 metreden daha az ise, konumun istenilen hata aralığında bulunduğu kararı verilir. 20 değeri, simülasyon ortamının performansına bakılarak ampirik olarak tespit edilmiştir.

6. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Çalışmada, geniş ölçekli ortamda RF yayın yapan hedefin konum tespiti problemi için lokalizasyon ve sınıflandırma algoritmalarından oluşan bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem verici gücünün belirsiz olduğu koşullarda çalışabilmekle birlikte trilaterasyon algoritması ve genişletilmiş Kalman filtresinin birlikte kullanımı ile hedef tespitini yüksek doğrulukla gerçekleştirebilmektedir.

Yazılımsal benzetim sisteminde kullanılan Arduplane yazılımı, aslında gerçek uçuşlarda da aracı kontrol etmesi için kullanılması planlanan donanım ve yazılımı temsil etmektedir. Ara haberleşme için uygun UDP haberleşme sisteminin kullanılması için Raspberry Pi bilgisayarının kullanılması öngörülmüştür. Üç uçak ile tüm sistemin gerçek testleri yapılmadan önce, bir uçak ve iki XPlane simülasyonu, iki uçak ve bir XPlane simülasyonu şeklinde bir geçiş organizasyonu takip edilecektir.

7. Kaynakça

- [1] M. B. Bejiga, A. Zeggada, A. Nouffidj and F. Melgani, "A Convolutional Neural Network Approach for Assisting Avalanche Search and Rescue Operations with UAV Imagery", *Remote Sensing*, 9(2), 100, Chicago, 2017
- [2] M. Silvagni, A. Tonoli, E. Zenerino and M. Chiaberge, "Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, doi: 10.1080/19475705.2016.1238852
- [3] S. Waharte and N. Trigoni. "Supporting search and rescue operations with UAVs." *Emerging Security Technologies (EST), 2010 International Conference on*. IEEE, 2010.
- [4] S. M. M. Dehghan and H. Moradi, "A new approach for Simultaneous Localization of UAV and RF Sources (SLUS)," *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Orlando, FL, 2014, pp. 744-749.
- [5] R. J. Bamberger, J. G. Moore, R. P. Goonasekeram, and D. H. Scheidt. "Autonomous Geolocation of RF Emitters Using Small, Unmanned Platforms", *Johns Hopkins Apl Technical Digest* Vol. 32, No. 3, pp. 636-646, December 2013.
- [6] M. Stachura, and E. W. Frew. "Cooperative Target Localization with a Communication-Aware Unmanned Aircraft System", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 34, No. 5, pp. 1352-1362, September-October 2011.
- [7] D. J. Pack, and G. W. P. York. "Developing a Control Architecture for Multiple Unmanned Aerial Vehicles to Search and Localize RF Time-Varying Mobile Targets: Part I," *2005 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Barcelona, Spain, April 2005, pp. 3954-3959.
- [8] P. Scerri, R. Glinton, S. Owens, D. Scerri, and K. Sycara. "Geolocation of RF Emitters by Many UAVs", *AIAA Infotech@Aerospace 2007 Conference and Exhibit, Infotech@Aerospace Conferences*, Rohnert Park, CA, May 2007.
- [9] P. DeLima, G. York and D. Pack, "Localization of ground targets using a flying sensor network," *IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC'06)*, Taichung, 2006.
- [10] D. Pack, G. York and G. Toussaint, "Localizing mobile RF targets using multiple unmanned aerial vehicles with heterogeneous sensing capabilities," *Proceedings. 2005 IEEE Networking, Sensing and Control, 2005.*, 2005, pp. 632-637
- [11] M. Hasanzade, O. Herekoglu, N. K. Ure, E. Koyuncu, R. Yeniceri and G. Inalhan, "Localization and tracking of RF emitting targets with multiple unmanned aerial vehicles in large scale environments with uncertain transmitter power," *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Miami, FL, 2017, pp. 1058-1065.
- [12] G. J. Toussaint, P. De Lima and D. J. Pack, "Localizing RF Targets with Cooperative Unmanned Aerial Vehicles," *2007 American Control Conference*, New York, NY, 2007, pp. 5928-5933.
- [13] T. S. Rappaport, *Wireless communications: Principles and Practice*. Prentice Hall New Jersey, 1996.
- [14] J. Blumenthal, R. Grossmann, F. Golasowski, and D. Timmermann. "Weighted centroid localization in zigbee-based sensor networks", in *Intelligent Signal Processing, 2007. WISP 2007. IEEE International Symposium on*, 2007, pp. 1-6.
- [15] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, *Probabilistic Robotics*. MIT press, 2005.