

Büyük patlama büyük çöküş optimizasyon yöntemi ile ultra geniş band sensörlerinin iç mekân konum belirleme doğruluklarının iyileştirilmesi

Improvement of indoor positioning accuracy of ultra-wide band sensors by using big bang-big crunch optimization method

Taner ARSAN* 

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kadir Has Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
arsan@khas.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 29.12.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 29.03.2018
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.59365
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Ultra geniş band teknolojisi, birçok iç mekân konum belirleme sisteminde başarılı çözümler sunan, diğer yöntemlere kıyasla daha iyi performans gösteren, gelişmekte olan bir teknolojidir. Bu çalışmada, ultra geniş band (Ultra Wide Band-UWB) sensörler kullanılarak bir iç mekân konum belirleme sistemi geliştirilmiş ve kullanılan ek algoritmalarla, standart donanımların sağladığı doğruluk düzeyi artırılırken aynı zamanda ortalama hatayı azaltmak hedeflenmiştir. Bu amaçla Büyük Patlama - Büyük Çöküş (Big Bang-Big Crunch veya BB-BC) optimizasyon yöntemi deneysel iç mekân konumlandırma sistemine uygulanmış ve ölçüm doğruluğu üzerindeki olumlu etkisi yapılan testlerle kanıtlanmıştır. Test alanı olarak 7.35 m × 5.41 m boyutlarında 39.76 m²'lik bir alan seçilmiş ve özel olarak tasarlanmış bir tavan sistemine yerden 2.85 m yüksekliğe üç farklı UWB alıcı yerleştirilmiş ve 182 adet test noktasından 60 sn. süreyle toplam 10.920 ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonuçları Büyük Patlama - Büyük Çöküş optimizasyon algoritması ile düzeltilerek, ortalama hatası önceki 20.72 cm değerinden 15.02 cm'ye düşürülmüş, böylelikle ölçüm sonuçlarının doğruluğu artırılmıştır.

Anahtar kelimeler: İç mekân konum belirleme, Uçuş zamanı, Ultra geniş band sensörler, Büyük patlama büyük çöküş optimizasyon yöntemi, Davranış haritalama

Abstract

Ultra-wide Band technology is an emerging technology that offers successful solutions in many indoor positioning systems and performs better than other methods. In this study, an indoor positioning system using Ultra-wide Band (UWB) sensors was developed and it was aimed to increase the accuracy level of the standard equipment with the additional algorithms used while reducing the average error. For this purpose, the Big Bang-Big Crunch (BB-BC) optimization method has been applied to the experimental indoor positioning system and the positive effect on the measurement accuracy has been proved by the tests made. An area of 39.76 m² was selected as a test area of 7.35 m × 5.41 m and three different Ultra-wide Band receivers were installed at a height of 2.85 m on a specially designed ceiling system and a total of 10.920 measurements were taken from 182 test points for 60 seconds. By correcting the measurement results with the Big Bang - Big Crunch optimization algorithm, the average error was reduced from the previous 20.72 cm to 15.02 cm, thus the accuracy of the measurement results were improved.

Keywords: Indoor positioning, Time of flight, Ultra-wide band sensors, Big bang-big crunch optimization method, Behavior mapping

1 Giriş

Konum Belirleme Sistemleri (Positioning Systems), bir cismin veya canlının fiziksel bir ortamdaki konumunu sürekli ve gerçek zamanlı olarak belirleyen sistemlerdir. Bulunulan çevreye göre iç mekân konum belirleme ve dış mekân konum belirleme sistemleri olarak ikiye ayrılır. Dış mekân konum belirleme çözümleri, Küresel Konumlama Sistemi (GPS-Global Positioning System) [1] ve destekli-GPS (A-GPS-assisted-GPS) teknolojisi göz önüne alınarak yıllar içinde geliştirilmiştir. Bu çözümler, dış mekânda bir başka deyişle açık alanlardaki konumu belirlemede oldukça etkilidir. A-GPS yaygın olarak mobil cihazlarda kullanılır ve baz istasyonu vasıtasıyla A-GPS adres sunucusu üzerinden kullanıcının konumunu bulmayı hedefler [2]. Ancak bu çözümlerin kapalı alanlarda uygulanması, sinyali bloke eden malzemeler, bozucular ve yansımalar nedeniyle mümkün değildir, zira iç mekânda sinyal gücünün zayıflaması söz konusudur. A-GPS'in dış mekân konum belirlemede sağladığı doğruluk 15 m, iç mekânda ise 50 m'dir [2]. Dolayısıyla iç mekân konum belirlemede daha farklı teknolojileri kullanmak gerektiği görülmektedir. İç mekân konum belirleme işlemi infrared, ultrasonik, hücresel, radyo frekansı ile tanımlama (RFID), kablosuz ağ (Wi-Fi), Bluetooth veya ultra geniş band (UWB) sensörleri vasıtasıyla

farklı teknolojiler kullanılarak daha yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilir [3]-[6]. Bu durumda, kullanılan teknolojiye bağlı olarak, ortalama hata metre seviyesinden santimetre seviyesine düşebilir. Kullanıcı ve algılama cihazları arasındaki mesafeleri tahmin etmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. RFID teknolojisi için etiket algılama hızları belirlenmiş, düşük enerjili Bluetooth (BLE-Bluetooth low energy) beacon cihazları ve Wi-Fi cihazları için alınan sinyal gücü (RSS-received signal strength) ölçülmüştür. RSS, alınan radyo sinyalinde bulunan gücün ölçülen değeridir. RSS değeri, verici cihaz ile ölçüm cihazı arasındaki mesafe arttıkça azalır. RSS değerleri genellikle dBm cinsinden ölçülür ve genellikle 0 dBm ile -100 dBm arasında bulunur. 0 dBm mükemmel bir sinyal karşılığı iken, -100 dBm son derece zayıf bir sinyali gösterir. Bu bölümde çeşitli iç mekân konum belirleme teknolojileri, konum belirleme yöntemleri de irdelenerek tanıtılmıştır.

1.1 İç mekân konum belirleme teknolojilerinin sınıflandırılması ve konum belirlemede kullanılan yöntemler

İç mekân konum belirlemede dört temel konum kestirim yönteminden biri kullanılır. Bu dört temel algoritma, yakınlık (proximity), üçgenleştirme (triangulation), mantıklı çıkarım

yaparak hesaplama (dead reckoning) ve parmak izi (fingerprinting) olarak sınıflandırılabilir [7].

Yakınlık (proximity) tabanlı iç mekân konum belirleme sisteminde, kullanıcı yalnızca ilgili noktaya yakınsa göreceli konum bilgisi sağlayabilir. Kullanıcı, bir alıcıyla ilişkili bir nesneye veya bir ürüne yakın olduğunda, kullanıcının bulunduğu yer ilgili alıcı ile belirlenebilir. Kullanıcı birden fazla alıcı tarafından algılanırsa, kullanıcı en güçlü sinyali olan alıcıyla ilişkilendirilebilir. Bu algoritma daha çok RFID gibi teknolojilerle birlikte kullanılmak için uygundur.

Üçgenleştirme (triangulation) yönteminde ifade edildiği üzere üçgenlerin geometrik özellikleri, GPS tarafından dış mekân konum belirlemede kullanıldığı gibi iç mekân konum belirleme için de uygundur. Açılarının çeşitli referans noktalarına göre hesaplanması hedefin konumunu belirlememize yardımcı olabilir. Bu üçgenleştirme türüne açılama (angulation), diğer alternatifine ise laterasyon (lateration) denir. Açılama algoritmalarının en bilineni varış açısı (Angle of Arrival - AoA) yöntemidir ve açılarının kesişme noktasından konumu bulabilir [8],[9]. Laterasyon algoritmaları, hedef ile gösterilen birkaç referans noktası arasındaki mesafeyi kullanarak konumu belirleyebilir. En çok bilinen laterasyon algoritmaları içinde varış zamanı (time of arrival-ToA) [10],[11], varış zamanı farkı (time difference of arrival-TDoA) [11], gidiş-dönüş uçuş süresi (round-trip time of flight-RToF) [4] ve alınan sinyal gücü (received signal strength-RSS) [4],[12],[13] sayılabilir. Ayrıca mantıklı çıkarım yaparak hesaplama yapan dead reckoning algoritması da kendisine uygulama alanları bulmuştur [14],[15].

İç mekân konum belirleme teknolojileri çok farklı şekillerde sınıflandırılırlar. Wi-Fi, Bluetooth, ultra geniş band (UWB) gibi kullandıkları frekansa göre yapılan sınıflandırma genelde en çok kabul görendir. Bu konuda yapılan farklı sınıflandırmalardan biri, [16]'da verilen bina altyapısına bağlı olan ve olmayan şeklinde yapılan sınıflandırmadır. Bina altyapısına bağlı olan iç mekân konumlandırma teknolojileri, iki ana sınıfa ayrılabilir: Bina altyapısını kullanan ve özel altyapı gerektiren iç mekân konumlandırma teknolojileri. Wi-Fi, Bluetooth ve hücre tabanlı teknolojiler bina altyapısında mevcut olabilecek teknolojiler arasında yer alıp farklı teknolojilerin kullanılmasını gerektirmez. Özel altyapı gerektiren iç mekân konum belirleme sistemleri ise RFID, UWB gibi radyo frekansını kullanan teknolojiler ile kızılötesi, ultrasonik ve lazer teknolojileridir [16]. Bina altyapısına bağlı olmayan teknolojilerin başında ise, bir nesnenin geçmiş konumunu, hızını ve hareket yönünü bilerek mantıklı çıkarım yaparak hesaplama yapan dead reckoning ile kameralardan alınan görüntüdeki bir nesnenin konumunun görüntü işleme yöntemleriyle iç mekân konumu belirlemeye yarayan görüntü tabanlı teknolojiler (image-based technologies) kullanılmaktadır.

1.2 İç mekân konum belirleme konusundaki ilk çalışmalar

İlk iç mekân konum belirleme sistemi AT&T Cambridge tarafından geliştirilen aktif rozet (active badges) sistemidir [17]. Bu sistemde, firmanın her çalışanı yanında bir kızılötesi sensör taşımakta ve merkezi bir veritabanı kızılötesi sensörlerden gelen verileri toplayıp, her kullanıcının konumunun belirlenmesi sağlamaktaydı. Bu yöntem kızılötesi iletişim üzerinden olduğu için yalnızca kısa menzilli uygulamalarda kullanılabilir ve en önemlisi, kızılötesi verici ve

alıcılar arasında herhangi bir engel bulunmamasını gerektirmektedir.

AT&T Cambridge daha sonra aktif rozetlerden daha iyi doğruluk sağlayan Active Bats adını verdiği ultrasonik izleme teknolojisini geliştirmiştir. Bu sistemde, kullanıcılar, verici görevi gören ultrasonik işaretler yayınlayan küçük rozetler taşımaktaydılar [18]. Sistem, triangulation algoritması kullanarak vericiden tavandaki alıcıya bu işaretin uçuş zamanını

(time of flight-ToF) ölçer. Bu ölçümle, havadaki ses hızı bilindiği için her alıcı ile verici arasındaki mesafe hesaplanabilir. Active bats sisteminin uygulanması, vericilerin sayısı ve bunların gerektirdikleri ince ayar nedeniyle oldukça zordur.

1.3 Radyo frekansı ile tanımlama (RFID) vasıtasıyla iç mekân konum belirleme

Radyo frekansı ile tanımlama olarak adlandırılan RFID (Radio Frequency Identification) teknolojisi, radyo frekansı uyumlu bir entegre devreyi elektromanyetik aktarım yoluyla veri depolama ve veriyi alma aracı olarak tanımlama prensibine dayanmaktadır. Bir RFID sistemi, RFID okuyucular, RFID etiketleri ve bunlar arasındaki iletişimden oluşmaktadır. RFID okuyucu, RFID etiketlerinden yayılan verileri okuyabilmektedir. RFID okuyucuları ve etiketleri, veri iletmek ve almak için tanımlanmış bir radyo frekansı ve haberleşme protokolü kullanmaktadır. RFID etiketleri pasif veya aktif olabilir. Pasif etiketlerin gücü okuyucu tarafından sağlanmaktadır. Etiket, okuyucunun sinyal aralığına girdiği zaman ilk önce radyo sinyali bir okuyucudan gönderilir, sinyal tarafından açılır ve okuyucu daha sonra kimliği ve verileri etiketten yakalar ve bu verileri ana bilgisayara gönderir. RFID orta katmanının kurulu olduğu bilgisayar, verileri işler ve okuyucuya geri gönderir; okuyucu daha sonra işlenmiş verileri etikete iletir. Pasif RFID sistemleri, daha kısa okuma aralıklarında uygulamalar için tercih edilmektedir. Esas olarak geleneksel barkod teknolojisini değiştirmek için kullanılırlar ve aktif etiketlerden daha hafif, daha küçük ve daha ucuzdurlar. Bununla birlikte, çalışma aralıkları sınırlıdır. Tipik okuma aralığı 1-2 m'dir ve okuyucuların maliyeti nispeten yüksektir [4]. Aktif RFID sistemlerinde, etiketler kendi besleme kaynaklarını barındırmaktadır, bu durumda okuma aralığı 1-2 m'den 50 m'ye çıkar [19]. RFID çözümlerinde ortalama hata yaklaşık olarak 1 m civarındayken, maksimum hatanın 2 m'den az olduğu görülmüştür [4]-[19]-[20].

1.4 Kablosuz yerel alan ağı (Wi-Fi) ile iç mekân konum belirleme

2.4 GHz bandında çalışan kablosuz yerel ağ (WLAN) veya Wi-Fi standardı, son on yıllık dönemde oldukça popüler hale gelmiştir. 11, 54 veya 100 Mbps'lik saniyedeki bit hızı ve 50-100 m aralığı ile IEEE 802.11 şu anda en çok kullanılan yerel kablosuz ağ standardıdır. Bu nedenle, bir konum sunucusu ekleyerek kullanıcının iç mekân konumunu belirlemek mümkün olabilmektedir. Aslında Wi-Fi altyapısı iç mekân konum belirleme amacıyla tasarlanmamıştır. Bununla birlikte, erişim noktası (AP-access point) tarafından iletilen alınan sinyal gücü (RSS), herhangi bir mobil kullanıcının yerini belirlemede kullanılabilir. Wi-Fi ile iç mekân konum belirlemede genellikle RSS tabanlı model kullanılmaktadır. Üç ve daha fazla AP'den alınan RSS bilgisi, üçgenleştirme (triangulation) yöntemi ile hesaplanarak mobil kullanıcının iç mekân konumunu bulmak için kullanılabilir. RSS kullanan tipik Wi-Fi konumlandırma sistemlerinin ortalama hatası 3 m ile 30 m arasındadır [4],[6].

1.5 BLE-beacon teknolojisi ile iç mekân konum belirleme

Bluetooth ağı, 2.4 GHz frekansı ile iletişim kurmakta olup düşük güçlü radyo dalgaları yoluyla veri iletimi sağlamaktadır. Bluetooth işareti, küçük verilerin yayımlandığı kablosuz bir teknolojidir. Veriler, ortam verisi (sıcaklık, hava basıncı veya nem), mikro konum verileri (varlık takibi, perakende satış) veya oryantasyon verileri (hızlanma, dönüş) gibi herhangi bir veri olabilir. Aktarılan veriler genellikle statiktir, ancak dinamik olabilir ve zamanla değişebilir. Düşük enerjili Bluetooth (BLE-Bluetooth low energy) teknolojisi sayesinde bir beacon tek bir pil ile yaklaşık bir yıl süre ile kullanılabilir. Beacon, Bluetooth işaretini yaklaşık 15 m'ye kadar ulaştırabilmekte olup, iç mekân konum belirlemede alınan sinyal gücü (RSS) yöntemini kullanmaktadır. Trilaterasyon yöntemi, üç farklı beacon'ın her birinden kullanıcının mesafesini hesaplamak için kullanılır. Kullanıcının iç mekân konum bilgisi, her biri bir beacon üzerinde ortalanarak çizilmiş üç dairenin kesiştiği nokta olarak belirlenir. Bu dairelerin her birinin yarıçapı, kullanıcının o beacon'dan tahmini uzaklığıdır. BLE beacon'lar kullanarak iç mekân konum belirleme işlemi, trilaterasyon yöntemi ile gerçekleştirilebildiği gibi, çoklu laterasyon (multi lateration) ve hücre tabanlı (cell-based) yöntemler kullanılarak da yapılabilir. Çoklu laterasyona dayalı iç mekân konum belirleme, kullanıcıdan gelen bir işaretin iletilmesi ile birden çok alıcıdaki işaretin alınması arasındaki zaman aralıklarının ölçülmesine dayanır. Hücre tabanlı yöntemler, RSS gibi herhangi bir mesafe ölçümü kullanmadan, yalnızca BLE beacon'ların görünürlüğüne dayalı olarak kullanıcının yerini belirler. İç mekân konumu, her bir beacon'ın sınırlı menzili ile belirlenir ve kullanıcının konum bilgisi, kapsama alanındaki tüm BLE beacon'lardan alınan işaretlerin kesişiminden elde edilir. BLE beacon tabanlı iç mekân konum belirleme sistemlerinde ortalama hata, genellikle 1 m-2 m aralığında değişmektedir [21].

1.6 Ultra geniş band (UWB) sensörler kullanarak iç mekân konum belirleme

Ultra geniş band (UWB) sensör teknolojisi, kısa menzilli yüksek band genişliği iletişiminde kullanılan bir radyo teknolojisidir. UWB, iç mekân mesafe kestirimi, iç mekân konum belirleme, iç mekân takip ve navigasyon için ideal olabilir [22]. UWB, 500 MHz'den daha yüksek bir bantgenişliğine sahiptir ve bu nedenle sinyaller genellikle birden fazla yolla alıcıya ulaşır. Bununla birlikte, yüksek bantgenişliği farklı frekansların farklı zamanlarda kullanılmasına olanak tanır ve bu sayede çoklu yol problemlerine ve bozucu etkilere karşı bir çözüm olarak kullanılabilir [23]. UWB vericileri diğer iç mekân konum belirleme teknolojilerine kıyasla daha düşük güç tüketir ve diğer seçeneklerden daha verimlidir ve daha uzun bir pil ömrü sağlar. Giyilebilen UWB vericilerinin güç tüketimi genellikle 1 mW'dan daha az iken, UWB alıcılarının güç sarfiyatları 400 mW civarındadır [24]. İletişim uygulamaları için UWB frekans aralığı, 3.1-10.6 GHz arasındadır [25]. Bu frekans aralığı UWB işaretlerinin bozuculardan daha az etkilenmesini sağlar. Özellikle 2.4 GHz frekans bandında çalışan Wi-Fi ve Bluetooth işaretlerinden etkilenmesini engeller. İç mekân konum belirlemede insan sayısının ve nesnelerin fazla olduğu ortamlarda, görüş alanı (LOS-line of sight) nispeten engellenebilir, bu da gecikmeye ve bir kısım sapmaya neden olabilir. Konumu belirlenecek kullanıcının görüş alanı dışında bulunması durumunda hata oranının artmasını beklemek doğaldır, ancak insan vücudunun emici etkilerinin bu hataları artıracağı sonucuna varmak zordur [26],[27]. UWB sensörlerle

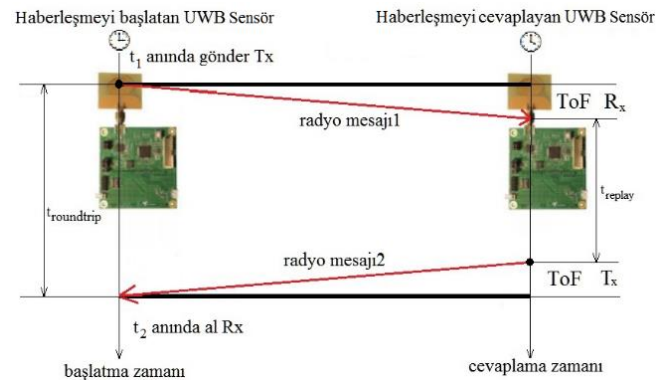
ç iç mekân konum belirlemede uçuş zamanı (ToF-time of flight) ve varış zamanı (ToA-time of arrival) yöntemleri kullanılmaktadır. UWB teknolojisi, özel verici ve alıcı altyapısı gerektirdiği için, bir kaç endüstriyel uygulama dışında, bilişim pazarına henüz girmemiştir [28]. Ancak, yakın gelecekte mobil telefonlarda UWB sensörlerin bulunmasının planlanması çok yakın bir gelecekte UWB sensörlerin çok çeşitli alanlarda kendine kullanım alanı oluşturacağını göstermektedir [16],[29]. Varış zaman farkı (TDoA-time difference of arrival) yöntemi ile UWB sensörlerinin kullanımı, tıbbi uygulamalarda özellikle dikkat çekmektedir [30]-[31]. Bir diğer yöntem olan varış açısı (AoA-angle of arrival), sinyallerin en az iki kaynaktan alınan açılarının sinyal şiddeti ile karşılaştırılmasını sağlar. Bu sayede nesnenin yeri sinyallerin kesiştiği açıdan bulunabilir [32]. ToF ve TDoA yöntemleriyle 30 cm civarında ortalama hata ile iç mekân konum belirleme gerçekleştirilebilmektedir [33].

2 decaWave DW1000 Ultra geniş band (UWB) sensörlerle iç mekân konum belirleme

Bu bölümde, uygulamada kullanılan decaWave marka DW1000 model ultra geniş band (UWB) sensörlerin çalışma özellikleri ve konum belirleme yöntemlerinin ayrıntıları açıklanmıştır. DW1000 UWB sensörler 4 GHz ve 6.5 GHz'lik farklı iki bantta çalışabilmektedir. Burada özellikle 6.5GHz frekansında çalıştırılmak suretiyle 2.4 GHz ve 5GHz bandındaki Wi-Fi işaretlerinden etkilenmemesi sağlanmıştır. Yukarıda da ifade edildiği üzere iç mekân konum belirlemede insan sayısının ve nesnelerin fazla olduğu ortamlarda, görüş alanı (LOS-line of sight) nispeten engellenebilir, bu da gecikmeye ve bir kısım sapmaya neden olabilir. Bu sebeple test alanında alıcı sensörlerin yerleşimleri hassas ölçümler yapılarak belirlenmiştir. Buna göre, alıcı olarak görev yapan üç sensörden en iyi sonuçların alındığı yerden 2.85 m yükseğe monte edilmiştir. Bunun için özel bir tavan sistemi geliştirilmiştir.

Konum belirleme yöntemlerine gelince, Şekil 1'de verilen zamanlama diyagramından da görülebileceği üzere, DW1000 ultra geniş band sensörler, iki yönlü mesafelendirme (two way ranging-TWR) adı verilen uçuş zaman (time of flight-ToF) yönteminin oldukça benzer şeklini kullanırlar [34]. TWR, uçuş zamanını belirleyerek iki nesne arasındaki mesafeyi hesaplayan temel bir kavramdır. Sensörler arasındaki mesafe (1) denklemi kullanılarak hesaplanabilir:

$$Mesafe = Radyo Dalgası hızı \times ToF \quad (1)$$



Şekil 1: DW1000 ultra geniş band sensörlerin kullandığı uçuş zamanı (time of flight-ToF) yönteminin benzer şekli olan iki yönlü mesafelendirme (two way ranging-TWR) yöntemi [34].

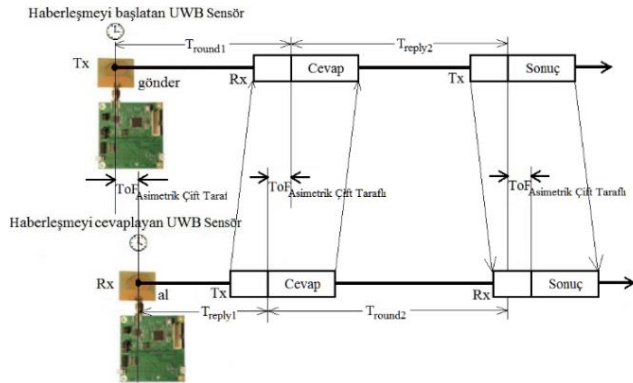
Yöntemde biri haberleşmeyi başlatan diğeri ise haberleşmeyi cevaplayan olmak üzere iki tane DW1000 UWB sensör kullanılmıştır. Haberleşmeyi başlatan UWB sensör, haberleşmeyi cevaplayan UWB sensöre t_1 anında radyo mesajı 1'i gönderir ve t_1 zamanını kaydeder. Haberleşmeyi cevaplayan UWB sensör mesajı alır ve belirli bir gecikmeden sonra haberleşmeyi başlatan UWB sensöre radyo mesajı2 ile cevap gönderir. Haberleşmeyi başlatan UWB sensör, bu cevabı t_2 zamanında alınca, bu t_2 zamanını kaydeder. Haberleşmeyi başlatan sensör hem t_1 hem de t_2 zamanlarını belirlediği için bu değerleri kullanarak uçuş zamanını (time of flight-ToF) tam olarak belirleyebilir. Bunun için (2) denklemini kullanır.

$$ToF = \frac{t_2 - t_1 - t_{reply}}{2} \quad (2)$$

Hava yoluyla yayılan radyo dalgalarının hızının ışığın hızı c ile aynı olduğunu varsayarsak, haberleşmeyi başlatan ile haberleşmeyi cevaplayan UWB sensörlerin arasındaki mesafe,

$$Mesafe = c \times \frac{t_2 - t_1 - t_{reply}}{2} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır. Bir verici (tag), birden fazla alıcı (anchor) olması durumunda, saat kayması ve frekans kayması gibi hata faktörleri hesaplama sonuçlarına olumsuz etkileyebilir. Bu etkileri azaltmak için asimetrik çift taraflı iki yönlü mesafelendirme (A-TWR-asymmetric double sided two way ranging) yöntemi kullanılır. Asimetrik çift taraflı iki yönlü mesafelendirme yöntemi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Asimetrik çift taraflı iki yönlü mesafelendirme yöntemi [34].

Son gönderilen radyo frekansı, haberleşmeyi başlatan UWB sensörün T_{round} ve T_{reply} zamanlarını haberleşmeyi cevaplayan UWB sensöre bildirir. Bu durumda haberleşmeyi başlatan UWB sensörünün uçuş zamanı (4) denklemiyle ve bulunduğu noktaya olan mesafe ise (5) denklemiyle hesaplanır.

$$ToF_{Asimetrik\ Çift\ Taraflı} = \frac{T_{round1} \times T_{round2} - T_{reply1} \times T_{reply2}}{T_{round1} + T_{round2} + T_{reply1} + T_{reply2}} \quad (4)$$

$$Mesafe = c \times ToF_{Asimetrik\ Çift\ Taraflı} \quad (5)$$

3 Büyük patlama-büyük çöküş (BB-BC) optimizasyon yöntemi

Erol ve Eksin tarafından 2006 yılında yayınlanan Büyük Patlama-Büyük Çöküş (BB-BC) optimizasyon algoritması [35], evrenin büyük patlama ve büyük çöküş kuramından esinlenmiştir. Büyük patlama evresinde yeni bir evren, "kütle

merkezi veya merkez noktası- x_c " olarak adlandırılan benzersiz bir noktadan üretilmektedir. Büyük patlama fazı, x_c çevresinde çeşitlendirme olarak görülebilir. Özellikle, yeni popülasyon x_i , $i = 1, \dots, N$ 'nin bir elemanı, aşağıda tarif edildiği gibi x_c kütesinin merkezine bir miktar yer değiştirme vektörü d_i eklenerek oluşturulmuştur:

$$x_i = x_c + \gamma_s d_i \quad (6)$$

Deplasman vektörü d_i , sıfır ortalama ve birim varyansa sahip Gauss gürültüsüne göre oluşturulmuştur. γ_s terimi, yinelemeler geçtikçe popülasyonun optimal nokta etrafında yayılmasını veya birikiminin kontrolü için kullanılan patlama kazancı/zayıflama parametresini temsil eder. Başlangıçta merkez noktası bilinmediğinden, nüfus merkez noktasını dikkate almadan tek bir olasılık dağılımı ile tüm evren veya arama alanına yayılmaya çalışılır.

Çöküş aşaması, aşağıdaki denklemde verilen ağırlıklı ortalama işlemi kullanılarak gerçekleştirilir:

$$x_c = \frac{\sum f_i x_i}{\sum f_i} \quad (7)$$

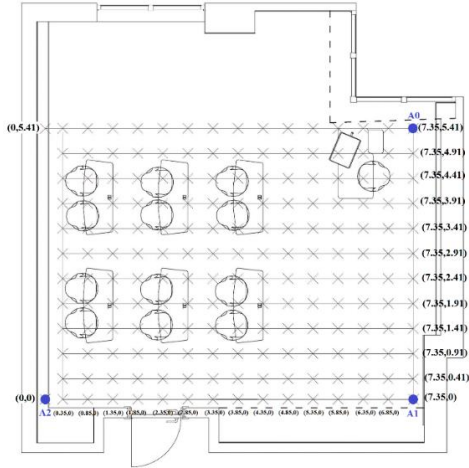
Yukarıdaki denklemde, aday puanların ağırlıkları, f_i olarak etiketlenen kendi fitness ölçütleridir. Bir patlama ve çökme fazı, bir iterasyon adımını oluşturur. "Patlama" ve "çökme" safhalarının ardışık uygulamaları elit bir tarzda farklı bir değişkende tutulmakta olan optimal noktayı bulmak için kapsamlı bir arama yapacaktır.

Optimizasyon algoritmalarında elde edilen sonuçların doğru ve güvenilir olması çok önemlidir. Özellikle mutlak maksimum ya da mutlak minimum ararken algoritma bulduğu yerel maksimum ya da yerel minimum değere yakınsayabilir. Geleneksel yöntemlerin bu ayrımı yapmakta zorlandığı durumlarda klasik genetik algoritmalar, BB-BC gibi iteratif algoritmalar iyi bir alternatif teşkil etmektedir. İç mekân konum belirlemede bu yöntemlerin herhangi biri kullanılabilir olmakla birlikte genetik algoritmalara göre yakınsama hızındaki üstünlüğü, uygulama kolaylığı (N popülasyondaki birey sayısı (population size), S iterasyon durma koşulu (iteration stop criteria) ve T test noktası sayısı (number of test case) olmak üzere BB-BC optimizasyon yönteminin karmaşıklığı $O[S \times N \times T]$ olarak hesaplanabiliyor olması) nedeniyle BB-BC tercih edilmiştir [35].

4 Test sonuçları

Test alanı olarak 7.35 m × 5.41 m boyutlarındaki 39.76 m²'lik alana sahip, Şekil 3'te planı verilen, aktif öğrenme merkezi seçilmiş ve özel olarak tasarlanmış bir tavan sistemine yerden 2.85 m yüksekliğe test alanının tam köşelerine üç farklı ultra geniş band (UWB) alıcı yerleştirilmiştir.

Tavan sistemi, decaWave DW1000 UWB sensörlerden oluşan üç alıcı (anchors) ve iki verici (tags) arasında daha iyi bir görüş alanı oluşturmak için geliştirilmiştir. Şekil 3'te görülebileceği gibi test alanı üzerinde 50 cm aralıklarla 182 tane nokta belirlenmiş ve herbir noktada 1 sn. aralıklarla 60'ar, toplamda 10.920 tane ölçüm yapılarak, (x, y) konum değerleri belirlenmiştir. Tablo 1'de 182 test noktasında elde edilen hata değerleri ve ayrıca ortalama hata değeri yer almaktadır.



Şekil 3: Ultra geniş band alıcıların (anchors) yerleştirildiği 7.35 m x 5.41 m boyutlarındaki test alanı ve 182 test noktası.

Tablo 1: 182 test noktasında elde edilen hata değerleri ve ortalama hata (ölçüm sonuçları metre cinsinden verilmiştir).

182 Test Noktası Ölçüm Sonuçları											
Test	x_{ig}	y_{ig}	$Hata_n$	Test	x_{ig}	y_{ig}	$Hata_n$	Test	x_{ig}	y_{ig}	$Hata_n$
1	7.35	5.41	0.1988	62	4.85	4.91	0.3682	123	2.35	4.41	0.2771
2	7.35	4.91	0.0812	63	4.85	4.41	0.1386	124	2.35	3.91	0.1671
3	7.35	4.41	0.2663	64	4.85	3.91	0.2042	125	2.35	3.41	0.1481
4	7.35	3.91	0.2572	65	4.85	3.41	0.2770	126	2.35	2.91	0.2047
5	7.35	3.41	0.2118	66	4.85	2.91	0.1285	127	2.35	2.41	0.1786
6	7.35	2.91	0.1228	67	4.85	2.41	0.3413	128	2.35	1.91	0.1102
7	7.35	2.41	0.1256	68	4.85	1.91	0.3224	129	2.35	1.41	0.4047
8	7.35	1.91	0.1142	69	4.85	1.41	0.2091	130	2.35	0.91	0.3299
9	7.35	1.41	0.1460	70	4.85	0.91	0.2345	131	2.35	0.41	0.4580
10	7.35	0.91	0.1328	71	4.85	0.41	0.2733	132	2.35	0	0.1666
11	7.35	0.41	0.1045	72	4.85	0	0.3303	133	1.85	5.41	0.2974
12	7.35	0.00	0.4013	73	4.35	5.41	0.1765	134	1.85	4.91	0.3507
13	6.85	5.41	0.3374	74	4.35	4.91	0.1963	135	1.85	4.41	0.1254
14	6.85	4.91	0.2080	75	4.35	4.41	0.1303	136	1.85	3.91	0.1030
15	6.85	4.41	0.1485	76	4.35	3.91	0.0763	137	1.85	3.41	0.1506
16	6.85	3.91	0.2361	77	4.35	3.41	0.1177	138	1.85	2.91	0.2913
17	6.85	3.41	0.1085	78	4.35	2.91	0.0472	139	1.85	2.41	0.2564
18	6.85	2.91	0.2764	79	4.35	2.41	0.0634	140	1.85	1.91	0.3287
19	6.85	2.41	0.2991	80	4.35	1.91	0.0974	141	1.85	1.41	0.2225
20	6.85	1.91	0.1111	81	4.35	1.41	0.1726	142	1.85	0.91	0.1888
21	6.85	1.41	0.2360	82	4.35	0.91	0.3551	143	1.85	0.41	0.3379
22	6.85	0.91	0.2354	83	4.35	0.41	0.1649	144	1.85	0	0.1315
23	6.85	0.41	0.1232	84	4.35	0	0.3884	145	1.35	5.41	0.3401
24	6.85	0	0.1891	85	3.85	5.41	0.1729	146	1.35	4.91	0.0301
25	6.35	5.41	0.0953	86	3.85	4.91	0.0958	147	1.35	4.41	0.1746
26	6.35	4.91	0.1294	87	3.85	4.41	0.1468	148	1.35	3.91	0.3219
27	6.35	4.41	0.1692	88	3.85	3.91	0.0809	149	1.35	3.41	0.1070
28	6.35	3.91	0.2234	89	3.85	3.41	0.1775	150	1.35	2.91	0.1094
29	6.35	3.41	0.2797	90	3.85	2.91	0.2468	151	1.35	2.41	0.1436
30	6.35	2.91	0.2090	91	3.85	2.41	0.1097	152	1.35	1.91	0.1205
31	6.35	2.41	0.1412	92	3.85	1.91	0.1736	153	1.35	1.41	0.3109
32	6.35	1.91	0.0752	93	3.85	1.41	0.1908	154	1.35	0.91	0.1092
33	6.35	1.41	0.2390	94	3.85	0.91	0.3277	155	1.35	0.41	0.2387
34	6.35	0.91	0.1859	95	3.85	0.41	0.2012	156	1.35	0	0.1228
35	6.35	0.41	0.1626	96	3.85	0	0.4249	157	0.85	5.41	0.3281
36	6.35	0	0.1483	97	3.35	5.41	0.2707	158	0.85	4.91	0.1352
37	5.85	5.41	0.3557	98	3.35	4.91	0.1641	159	0.85	4.41	0.2236
38	5.85	4.91	0.3235	99	3.35	4.41	0.1732	160	0.85	3.91	0.4233
39	5.85	4.41	0.1666	100	3.35	3.91	0.3243	161	0.85	3.41	0.1343
40	5.85	3.91	0.2331	101	3.35	3.41	0.1553	162	0.85	2.91	0.2724
41	5.85	3.41	0.4118	102	3.35	2.91	0.1671	163	0.85	2.41	0.2175
42	5.85	2.91	0.4592	103	3.35	2.41	0.1180	164	0.85	1.91	0.3105
43	5.85	2.41	0.4548	104	3.35	1.91	0.0836	165	0.85	1.41	0.3632
44	5.85	1.91	0.3095	105	3.35	1.41	0.0402	166	0.85	0.91	0.3176
45	5.85	1.41	0.2779	106	3.35	0.91	0.3105	167	0.85	0.41	0.1536
46	5.85	0.91	0.3138	107	3.35	0.41	0.1068	168	0.85	0	0.3264
47	5.85	0.41	0.1272	108	3.35	0	0.1944	169	0.35	5.41	0.1505
48	5.85	0	0.4969	109	2.85	5.41	0.1895	170	0.35	4.91	0.1466
49	5.35	5.41	0.1291	110	2.85	4.91	0.1337	171	0.35	4.41	0.2012
50	5.35	4.91	0.1302	111	2.85	4.41	0.1546	172	0.35	3.91	0.1793
51	5.35	4.41	0.4309	112	2.85	3.91	0.1704	173	0.35	3.41	0.1548
52	5.35	3.91	0.3163	113	2.85	3.41	0.2279	174	0.35	2.91	0.2054
53	5.35	3.41	0.0605	114	2.85	2.91	0.1160	175	0.35	2.41	0.0661
54	5.35	2.91	0.1166	115	2.85	2.41	0.0951	176	0.35	1.91	0.3253
55	5.35	2.41	0.2986	116	2.85	1.91	0.3157	177	0.35	1.41	0.2056
56	5.35	1.91	0.2040	117	2.85	1.41	0.1736	178	0.35	0.91	0.0845
57	5.35	1.41	0.4050	118	2.85	0.91	0.2156	179	0.35	0.41	0.2984
58	5.35	0.91	0.1616	119	2.85	0.41	0.0800	180	0.35	0	0.1172
59	5.35	0.41	0.0748	120	2.85	0	0.1776	181	0	5.41	0.0429
60	5.35	0	0.1881	121	2.35	5.41	0.1766	182	0	0	0.2104
61	4.85	5.41	0.2062	122	2.35	4.91	0.1794	Ortalama Hata	0.2088		

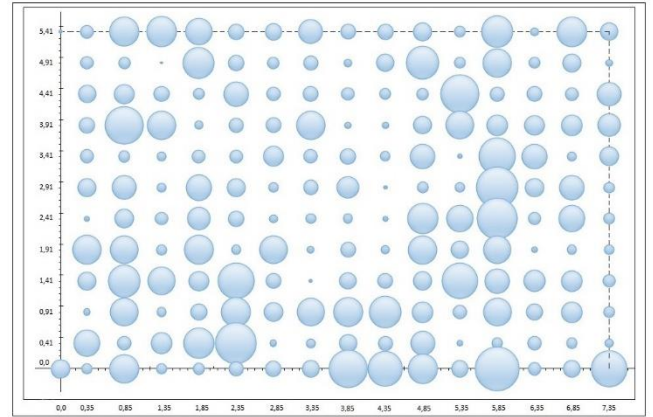
Tablo 1’de her n konumunda ($n=1, \dots, 182$) alınan k adet ölçüm sonucunun ($k=1, \dots, 60$) aritmetik ortalaması alınarak bulunan hata değeri

$$Hata_n = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sqrt{(x_{i0} - x_{ig})^2 + (y_{i0} - y_{ig})^2} \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır. Burada, x_{i0} , i inci ölçümün ölçülen x değerini, x_{ig} i inci ölçümün gerçek x değerini, y_{i0} i inci ölçümün ölçülen y değerini, y_{ig} ise i inci ölçümün gerçek y değerini ifade etmektedir. Test noktasından alınan altmış ölçüm sonucunun (8) denklemlerle verilen aritmetik ortalaması, o noktadaki hatayı, ölçüm yapılan $n=182$ konumun hatalarının aritmetik ortalaması da, (9) denkleminde verildiği gibi, o test alanındaki ortalama hatayı verir.

$$Ortalama Hata = \frac{1}{182} \sum_{n=1}^{182} (Hata_n) \quad (9)$$

Tablo 1’de elde edilen sonuçlar Şekil 4’te grafik olarak ifade edilmiştir. Burada her noktada elde edilen hata değerlerinin ortalaması ölçekli büyüklükte bir daire vasıtasıyla görselleştirilmiştir.



Şekil 4: 182 noktada Asimetrik Çift Taraflı ToF (time of flight) yöntemi ile elde edilen hata değerlerinin 7.35 m x 5.41 m boyutundaki test alanında grafik olarak gösterilimi.

182 test noktasında elde edilen bu sonuçlar, (10) denklemlerle ifade edilen performans ölçütünü Büyük Patlama-Büyük Çöküş yöntemi ile en iyileyecek offset değerlerinin bulunmasında kullanılmıştır. Buna göre, performans ölçütü,

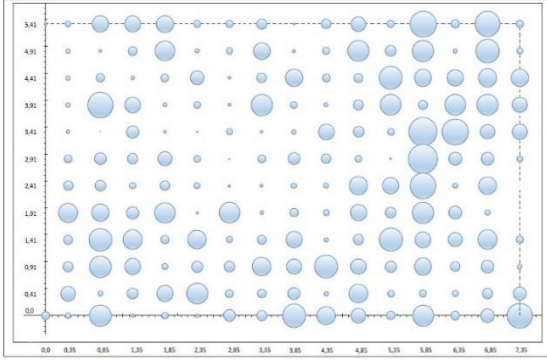
$$I = \sum_{i=1}^n ((x_{i0} - x_{ioffset} - x_{ig})^2 + (y_{i0} - y_{ioffset} - y_{ig})^2) \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, x_{i0} , i inci noktada ölçülen x değerini, x_{ig} , i inci noktadaki gerçek x değerini, y_{i0} , i inci noktada ölçülen y değerini, y_{ig} ise i inci noktadaki gerçek y değerini ifade etmektedir. $x_{ioffset}$ ve $y_{ioffset}$ değerleri ise i inci noktada amaç ölçütünü en iyileyen offset değerlerini göstermektedir. Bu ölçüt göz önünde bulundurularak, Büyük Patlama - Büyük Çöküş optimizasyon yöntemi ultra geniş band sensörlerden elde edilen konum bilgilerine uygulanmış ve offset değerleri olarak,

$$x_{offset} = 0.103777664633762 \quad (11)$$

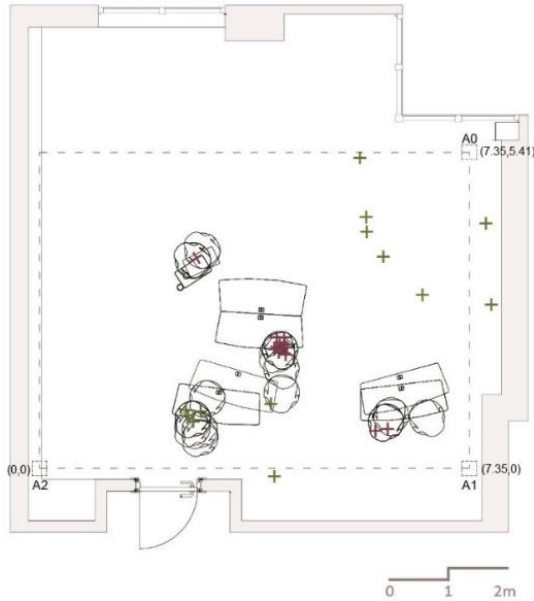
$$y_{offset} = -0.045650989152072 \quad (12)$$

elde edilmiştir. Şekil 4'e benzer şekilde BB-BC algoritması uygulandıktan sonraki sonuçlar Şekil 5'te grafik olarak ifade edilmiş, benzer biçimde, hata değerlerinin ortalaması ölçekli büyüklükte bir daire vasıtasıyla görselleştirilmiştir.



Şekil 5: 182 noktada BB-BC yöntemi ile elde edilen hata değerlerinin 7.35 m x 5.41 m'lik test alanında gösterilimi.

(11) ve (12)'de ifade edilen değerler ışığında iki ayrı verici ultra geniş band sensör kullanılarak 26 farklı konumda yeni test noktaları seçilmiş elde edilen ölçüm sonuçlarına BB-BC offset değerleri uygulanmıştır. Şekil 6'da üç farklı ultra geniş band alıcı (anchors) ve iki farklı ultra geniş band vericinin (tags) bulunduğu, boyutları 7.35 m x 5.41 m olan test alanı ve yeni belirlenen 26 test noktası görülmektedir. Burada A0 ile gösterilen birinci alıcı (7.35,5.41) noktasına, A1 ile gösterilen ikinci alıcı (7.35,0) noktasına, A2 ile gösterilen üçüncü alıcı ise (0,0) noktasına yerleştirilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı 26 test noktası öğrenci ve öğretim üyesi hareketine bağlı olacak şekilde seçilmiştir. Öğretim üyesi, birinci verici sensörünü göğüs hizasında boynuna asılı olacak şekilde giymiştir ve ders anlatma davranışını modellemiştir.



Şekil 6: Ultra geniş band alıcıların (anchors) ve iki farklı vericinin (tags) bulunduğu 7.35 m x 5.41 m boyutlarındaki test alanı ve 26 test noktası (1. verici yeşil, 2. verici kırmızı renkle gösterilmiştir, her verici için 13 test noktası belirlenmiştir).

Birinci verici Şekil 6'da "yeşil renkli +" işareti ile ifade edilmiştir. İkinci verici sensörünü taşıyan öğrenci ise yine boynuna asılı olarak giydiği UWB sensörle birlikte farklı sandalyelerde oturarak aktif ders dinlemeyi modellemiştir. İkinci verici Şekil 6'da "kırmızı renkli +" işareti ile gösterilmiştir. Her bir verici için 13 test noktası olmak üzere toplam 26 test noktası belirlenmiştir. Bu noktalardan birinci verici 11, 12 ve 13 üncü test noktalarında test alanının dışına çıkmıştır. Bu test noktaları, UWB sensörlerin görüş alanı dışında (Non line-of-sight-NLOS) olması durumunda nasıl davrandığını görmek amaçlı olarak seçilmiştir. Ortalama hata değerleri test alanı içinde ve test alanı dışında olacak biçimde iki farklı şekilde ifade edilmiştir. Önemli olan sonuçlar test alanı içinde yer alan 23 noktadaki ortalama hata değeridir.

BB-BC algoritması ile optimizasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen offset değerleri yeni seçilen 26 test noktasının her birinde alınan 180 ölçüm sonucuna eklenmiş, her bir noktadaki hata hesaplanmış, bu hataların ortalaması alınarak test noktasındaki ortalama hata değeri belirlenmiştir. 26 noktada elde edilen hata değerlerinin ortalaması alınarak ortalama hata değeri bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 2'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Test alanı içinde bulunan 23 noktada standart yöntemle yapılan ölçümlerde ortalama hata değeri 20.72 cm iken BB-BC optimizasyon yöntemiyle yapılan ölçümlerde ortalama hatanın 15.02 cm'e düştüğü görülmüştür.

Tablo 2: BB-BC performansını belirlemek için seçilmiş 26 test noktasında elde edilen hata değerleri ve ortalama hata (ölçüm sonuçları metre cinsinden verilmiştir).

UWB Birinci Verici (Yeşil)								
Test	Asimetrik Çift Taraflı ToF Sonuçları					BB-BC Sonuçları		
Konum	X _{ig}	Y _{ig}	Ort. X _{i0}	Ort. Y _{i0}	Hata _n	BBBC Ort. X _{i0}	BBBC Ort. Y _{i0}	Hata _n
1	5.48	5.31	5.6879	5.3220	0.2101	5.5841	5.3776	0.1260
2	5.60	4.30	5.6007	4.3854	0.1005	5.4969	4.4310	0.1671
3	5.61	4.06	5.7604	3.9744	0.1742	5.6566	4.0201	0.0641
4	5.88	3.62	6.0884	3.5691	0.2191	5.9847	3.6148	0.1143
5	6.56	2.98	6.5337	3.0640	0.1052	6.4299	3.1097	0.1878
6	3.96	1.12	4.0197	0.8231	0.3165	3.9159	0.8687	0.2749
7	2.53	1.01	2.6178	0.8734	0.1777	2.5141	0.9191	0.1132
8	2.57	0.92	2.6358	0.7312	0.2021	2.5320	0.7768	0.1514
9	2.64	0.85	2.6635	0.6304	0.2232	2.5597	0.6761	0.1975
10	2.78	1.00	2.9524	0.7948	0.2695	2.8486	0.8404	0.1755
11	7.72	2.81	7.6788	4.3201	0.2994	7.5751	4.3658	0.2258
12	7.64	4.20	7.8698	3.0514	0.2027	7.7660	3.0970	0.3031
13	4.04	-0.13	4.0938	-0.5591	0.4329	3.9900	-0.5134	0.3873
UWB İkinci Verici (Kırmızı)								
Test	Asimetrik Çift Taraflı ToF Sonuçları					BB-BC Sonuçları		
Konum	X _{ig}	Y _{ig}	Ort. X _{i0}	Ort. Y _{i0}	Hata _n	BBBC Ort. X _{i0}	BBBC Ort. Y _{i0}	Hata _n
1	2.71	3.60	2.7876	3.4486	0.1727	2.6839	3.4943	0.1120
2	4.08	2.24	4.1734	2.0008	0.2720	4.0696	2.0465	0.2118
3	4.19	2.24	4.3112	2.1956	0.1477	4.2074	2.2412	0.0719
4	4.12	2.16	4.2949	2.0381	0.2158	4.1911	2.0838	0.1082
5	4.21	2.13	4.4828	1.9623	0.3263	4.3790	2.0079	0.2176
6	4.19	2.07	4.4390	1.9216	0.2934	4.3352	1.9672	0.1831
7	4.13	2.08	4.2252	2.1064	0.1336	4.1214	2.1521	0.1186
8	4.05	2.05	4.0316	1.9639	0.0896	3.9278	2.0095	0.1380
9	4.09	2.01	4.1817	1.9164	0.1443	4.0780	1.9620	0.0762
10	4.11	1.99	4.3541	1.9247	0.2541	4.2503	1.9703	0.1458
11	4.22	1.97	4.3797	1.7694	0.2702	4.2759	1.8151	0.1894
12	5.75	0.67	5.8098	0.4513	0.2270	5.7060	0.4970	0.1815
13	5.96	0.69	6.1038	0.5247	0.2216	6.0000	0.5703	0.1289
Asimetrik Çift Taraflı ToF Yöntemi için 23 nokta Ortalama Hata					0.2072	BB-BC 23 nokta Ortalama Hata		0.1502
Asimetrik Çift Taraflı ToF Yöntemi için 26 nokta Ortalama Hata					0.2193	BB-BC 26 nokta Ortalama Hata		0.1681
Asimetrik Çift Taraflı ToF Yöntemi için Minimum Hata					0.0896	BB-BC Minimum Hata		0.0641
Asimetrik Çift Taraflı ToF Yöntemi için Maksimum Hata					0.4329	BB-BC Maksimum Hata		0.3873

26 noktada gerçekleştirilen test çalışması için BB-BC algoritmasının toplam hesaplama süresi Intel i7 işlemcili bir bilgisayar için yaklaşık 20 sn.'dir. Sonuç olarak tüm testlerin yapılmasını takip eden yirminci saniyede iç mekân konum belirlemede ciddi sayılabilecek bir iyileştirme sağlanmıştır.

5 Sonuçlar

Bu araştırma makalesinde, ultra geniş band sensörler kullanılarak iç mekân konum belirlemede kullanılan standart sistemlerinin doğruluğu Büyük Patlama-Büyük Çöküş (Big Bang-Big Crunch) optimizasyon yöntemi [35] kullanılarak artırılmış, ortalama hata azaltılmıştır. Ultra geniş band teknolojisi, iç mekân konum belirleme uygulamalarında kullanıldığında ortalama hatanın 24 cm ile 30 cm arasında olduğu bilinmekle birlikte, bu hata seviyesi konum belirleme, yönlendirme ve navigasyon uygulamaları için yeterli doğruluğu görülmektedir. Davranış haritalama gibi uygulamalar ise daha yüksek doğruluğa ve daha düşük ortalama hata değerine ihtiyaç duymaktadır [36]. Geliştirilen yöntemden elde edilen sonuçlar davranış haritalama konusunda çok daha başarılı çalışmaların yapılmasına imkan sağlayacak niteliktedir.

Test alanı olarak seçilen 7.35 m × 5.41 m boyutlarındaki 39.76 m²'lik alanda özel olarak tasarlanmış bir tavan sistemi kullanılarak yerden 2.85 m yüksekliğe üç farklı ultra geniş band alıcı yerleştirilmiştir. 182 adet test noktasından 60 sn. süreyle toplam 10,920 ölçüm alınmış, bu değerler Büyük Patlama-Büyük Çöküş (BB-BC) optimizasyon yöntemi ile x ve y konumları için optimal offset değerleri belirlenmiştir. Yeni değerler test noktalarından farklı seçilen üç tanesi test alanı dışından olmak üzere toplam 26 yeni ölçüm noktasına uygulanmıştır. Test alanı dışında kalan test noktaları, UWB sensörlerin görüş alanı dışında (Non line-of-sight-NLOS) olması durumunda nasıl davrandığı görmek amaçlı olarak seçilmiştir. Ortalama hata değerleri test alanı içinde ve test alanı dışında olacak biçimde iki farklı şekilde ifade edilmiştir. Aynı anda iki ultra geniş band vericisi kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm noktası için 180 sn. süreyle toplam 4,680 ölçüm sonucu toplanmıştır. Test alanı içinde kalan 23 nokta için ortalama hata 20.72 cm, tüm 26 nokta için 21.93 cm olarak hesaplanmıştır.

Büyük patlama büyük çöküş yöntemi ile elde edilen offset değerleri uygulandığında ise 23 nokta için ortalama hatanın 15.02 cm'e, tüm 26 nokta için ise 16.81 cm'e düştüğü tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, Büyük Patlama - Büyük Çöküş optimizasyon yöntemi ile ortalama hatayı azaltmayı amaçlamış ve yapılan testlerden elde edilen sonuçlar uyarınca ortalama hata değerini 20.72 cm'den 15.02 cm'ye düşürerek ortalama hatanın %27.5 oranında iyileşmesini sağlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar, davranış haritalama, güvenlik ve benzeri yüksek doğruluk gerektiren uygulamaların geliştirilmesine imkan sağlayacaktır.

6 Kaynaklar

- [1] Hofmann-Wellen Hof B, Lichtenegger H, and Collins J. *Global Positioning System: Theory and practice*. Wien, Austria, Springer, 2001.
- [2] Djuknic GM, Richton RE. "Geolocation and assisted GPS". *Computer*, 34(2), 123-125, 2001.
- [3] Huang H, Gartner G. *A Survey of Mobile Indoor Navigation Systems*, Editors: Gartner G, Ortog F. Cartography in Central and Eastern Europe, 305-319, Heidelberg, Germany, Springer, 2010.

- [4] Liu H, Darabi H, Banerjee P, Liu J. "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1067-1080, 2007.
- [5] Ram S, Sharf J. "The people sensor: A mobility aid for the visually impaired". In *Proceedings of the Second International Symposium on Wearable Computers*, Pittsburgh, PA, USA, 19-20 October 1998.
- [6] Gu Y, Lo A, Niemegeers I. "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks". *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 11(1), 13-32, 2009.
- [7] Dag T, Arsan T. "Received signal strength based least squares lateration algorithm for indoor localization". *Computers & Electrical Engineering*, 66, 114-126, 2018.
- [8] Xu J, Ma M, Law C. "AOA cooperative position localization". *IEEE GLOBECOM 2008-2008 IEEE Global Telecommunications Conference*, New Orleans, LO, USA, 30 November-4 December 2008.
- [9] Lee Y. "Weighted-average based aoa parameter estimations for LR-UWB wireless positioning system". *IEICE Transactions on Communications*, 94(3), 599-602, 2011.
- [10] Dardari D, Conti A, Ferner U, Giorgetti A, Win MZ. "Ranging with ultrawide bandwidth signals in multipath environments". *IEEE Proceedings*, 97(2), 404-426, 2009
- [11] Alsindi N, Alavi B, Pahlavan K. "Spatial characteristics of UWB TOA based ranging in indoor multipath environments". *18th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Athens, Greece, 3-7 September 2007.
- [12] Ganick A, Ryan D. "Method and system for modulating a light source in a light based positioning system using a DC bias.", United States Patent, Patent No: 8,334,901 B1, 18 Dec. 2012.
- [13] Gezici S. "A survey on wireless position estimation". *Wireless Pers Communicaiton*, 44(3), 263-282, 2008.
- [14] House S, Connell S, Milligan I, Austin D, Hayes TL, Chiang P. "Indoor localization using pedestrian dead reckoning updated with RFID-based fiducials". *33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS '11)*, Boston, MA, USA, 30 August-3 September 2011.
- [15] Pai D, Malpani M, Sasi I, Aggarwal N, Mantripragada PS. "Padati: A Robust pedestrian dead reckoning system on smartphones". *11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom '12) IEEE*, Liverpool, UK, 25-27 June 2012.
- [16] Alarifi A, Al-Salman A, Alsaleh M, Alnafessah A, Al-Hadhrani S, Al-Ammar MA, Al-Khalifa HS. "Ultra-wide band indoor positioning technologies: analysis and recent advances". *Sensors*, 16(5), 707, 36 pages, 2016.
- [17] Want R, Hopper A, Falcao V, Gibbons J. "The active badge location system". *ACM Transactions Information Systems*, 10(1), 91-102, 1992.
- [18] Ward A, Jones A, Hopper A. "A new location technique for the active office". *IEEE Personal Communications*, 4, 42-47, 1997.
- [19] Montaser A, Moselhi O. "RFID indoor location identification for construction projects". *Automation in Construction*, 39, 167-179, 2014.
- [20] Ni LM, Liu Y, Lau YC, Patil AP. "LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID". *Wireless Networks*. 10(6), 701-710, 2004.

- [21] Kriz P, Maly F, Kozel T. "Improving indoor localization using bluetooth low energy beacons". *Mobile Information Systems*, 2016, 1-11, 2016.
- [22] Alsindi N, Alavi B, Pahlavan K. "Measurement and modeling of ultrawideband TOA-Based ranging in indoor multipath environments". *IEEE Transactions Vehicle Technologies*, 58(3), 1046-1058, 2009.
- [23] Hämäläinen M, Hovinen V, Latva-aho M. "Survey to Ultra-wide band systems". *European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research-COST 262*, Thessaloniki, Greece, 8-9 July 1999.
- [24] Kopta V, Farserotu J, Enz C. "FM-UWB: Towards a robust, low-power radio for body area networks". *Sensors*, 17(5), 1043, 21 pages, 2017.
- [25] Nasr KM. "Hybrid channel modelling for ultra-wideband portable multimedia application". *IET Microwaves Antennas & Propagation*, 2(3), 229-235, 2008.
- [26] De Santis V, Feliziani M, Maradei F. "Safety assessment of UWB radio systems for body area network by the FD2TD method". *IEEE Transactions on Magnetics*, 46(8), 3245-3248, 2010.
- [27] Fort A, Ryckaert J, Desset C, De Doncker P, Wambacq P, Van Biesen L. "Ultra-wideband channel model for communication around the human body". *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24(4), 927-933, 2006.
- [28] Moghtadaiee V, Dempster AG. "Determining the best vector distance measure for use in location fingerprinting". *Pervasive and Mobile Computing*, 23, 59-79, 2015.
- [29] Krulwich B. "Ultra-wide band Poised to Enter Smartphones: A Location Opportunity". Available online: http://www.gpsbusinessnews.com/Ultra-WidebandPoised-to-Enter-Smartphones-a-LocationOpportunity_a4969.html (04.03.2017).
- [30] Rowe NC, Fathy AE, Kuhny MJ, Mahfouzy MR. "UWB transmit-only based scheme for multi-tag support in a millimeter accuracy localization system". *Proceedings of the 2013 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks*, Austin, TX, USA, 20-23 January 2013.
- [31] Kuhn M, Mahfouz M, Turnmire J, Wang Y, Fathy A. "A multi-tag access scheme for indoor UWB localization systems used in medical environments". *Proceedings of the 2011 IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems (BioWireleSS)*, Phoenix, AZ, USA, 16-19 January 2011.
- [32] Mahfouz M, Kuhn M, Wang Y, Turnmire J, Fathy A. "Towards sub-millimeter accuracy in UWB positioning for indoor medical environments". *Proceedings of the 2011 IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems (BioWireleSS)*, Phoenix, AZ, USA, 16-19 January 2011.
- [33] Deissler T, Janson M, Zetik R, Thielecke J. "Infrastructureless indoor mapping using a mobile antenna array". *19th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, Vienna, Austria, 11-13 April 2012.
- [34] DecaWave, "TREK1000 User Manual, How to Install, Configure and Evaluate the Decawave Trek1000 Two-Way Ranging (TWR) RTLS IC Evaluation Kit. DecaWave, Version 1.06.2016." <https://www.decawave.com/support#term7> (22.12.2016).
- [35] Erol OK, Eksin I. "A new optimization method: Big Bang-Big Crunch". *Advances in Engineering Software*, 37(2), 106-11, 2006.
- [36] Arsan T, Kepez O. "Early steps in automated behavior mapping via indoor sensors". *Sensors*, 17(12), 2925, 22 pages, 2017.