



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Yeraltı maden işçilerini gerçek zamanlı takip etmek için RFID teknolojisine dayalı özgün bir entegrasyon metodolojisi

A unique integration methodology for RFID technology to track underground miners in real-time

Yazar (Author): Mahmut ÇAVUR

ORCID: 0000-0002-1256-2700

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çavur M., “Yeraltı maden işçilerini gerçek zamanlı takip etmek için RFID teknolojisine dayalı özgün bir entegrasyon metodolojisi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 603-610, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.375183

Yeraltı Maden İşçilerini Gerçek Zamanlı Takip Etmek İçin RFID Teknolojisine Dayalı Özgün Bir Entegrasyon Metodolojisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mahmut ÇAVUR

İşletme Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, Kadir Has Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 14.05.2017 ; Kabul/Accepted : 18.09.2017)

ÖZ

Son yıllarda birçok sektör personellerini, kaynaklarını ve çalışan makinelerini güvenlik, koordinasyon ve performans gibi farklı amaçlarla mekânsal olarak anlık bir şekilde takip etmek istemektedirler. Personel takibinin amacı ve ihtiyaçlar, takibin şeklini belirleyen en temel faktörlerdendir. Bu amaçla geliştirilen sistemler ihtiyaca göre farklı teknolojiler barındırmaktadır. Dış ortamlarda küresel konumlama sistemi GPS (global positioning system) ile gerçek-zamanlı konum, yüksek hassasiyetle belirlenebilmektedir. Fakat kapalı ortamlarda konumlandırmalar için önceki araştırma ve geliştirmeler daha çok kızılötesi, kablosuz LAN ve ultrasonik üzerine yapılmıştır. Bu çalışma ile, Radyo Frekans (RFID) protokolü ve arayüzü, açık kaynak kodlu bir Bilgi Sistemleri (BS) yazılımına entegre edilmiştir. RFID'nin açık kaynak kodlu bir yazılıma entegrasyonu için "Tight Entegrasyon" metodolojisi geliştirildi. Altlık olarak açık kaynak kodlu BS kullanılması da mekânsal gösterim ve analiz imkânı sağladı. Geliştirilen konumlandırma algoritması Java programlama dili ile kodlanmış olup, tamamen özgün ve yenilikçidir. Algoritmada komşuluk, yön ve sinyal alınan en son noktanın sağ ve solunda RFID okuyucu olup olmadığına dair filtreler kullanılarak konumlandırmanın doğruluk hassasiyeti 20 metreye kadar artırıldı. Kullanılan metodoloji yer altı tuz madeninde test edildi ve başarılı bir şekilde çalıştığı ispatlandı. Bu çalışma ile geliştirilen çalışma 5 farklı madende işçi güvenliği ve takibi amacıyla kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rfid ile kapalı alanlarda konum belirleme, kapalı alanlarda gerçek zamanlı konum belirleme, rfid, rssi, konumlandırma.

A Unique Integration Methodology for RFID Technology to Track Underground Miners in Real-Time

ABSTRACT

In recent years, many companies want to keep track of their employees, sources and working machines due to various reasons, like security, coordination, performance monitoring. The purpose and requirements are the main factors that determine the methodology of tracking. The real-time tracking can be determined with high precision in open areas with the global positioning system (GPS). However, previous research and developments for indoor tracking have mostly focused on infrared, wireless LAN and ultrasonic. In this study, a Radio-Frequency Identification (RFID) protocol and interface are integrated into an open source Information Systems (IS) software. A tight coupling methodology is developed for integration of RFID into an open source software. The use of open source software as a common interface also provides better spatial display and analysis capabilities. The tracking algorithm is completely unique, original and it is encoded in the Java programming language. In the algorithm, the accuracy of locating the proximity, direction of miners and whether the RFID tag is on the right and left of the last point of RFID receiver is determined with 20 m accuracy. The system was tested in an underground salt mine. The developed methodology and system are now being commercialized in Turkey.

Keywords: Localization in closed areas by using RFID, real-time localization closed areas, RFID, RSSI, localization

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kapalı ortamlarda konumlandırma konusunda çok farklı akademik ve ticari çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar genelde insan sağlığı ve güvenliği konularına yoğunlaşmıştır. Özellikle yer altı madenleri insan

sağlığının çok fazla tehlike altında olduğu iş kollarından bir tanesidir. Bundan dolayı kapalı ortamlar için ihtiyacı karşılayacak şekilde anlık konum bilgisi verebilecek yöntemlere ve algoritmalara gereksinim duyulmaktadır [1-2]. Bundan dolayı, kapalı ortamlarda konum belirlemek amacıyla radyo frekansından, kızıl ötesi ışıklara ve hatta görüntü analiz işlemlerine kadar birçok farklı yöntem kullanılmaktadır [1].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mahmutcavur@gmail.com

Kızılötesi teknolojisi son zamanlara kadar birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmakta ve dolayısıyla geliştirilmekteydi. Kızılötesi, dalga boyu mikrodalgalardan kısa görünür ışıktan uzun olan elektromanyetik dalgalara denir [3]. Fakat bu teknolojiye bazı kısıtlardan dolayı (line-of-sight, doğrudan görüş gibi) anlık takip için çok da yeterli olmadığı anlaşılmıştır [1].

Kablosuz ağ olarak da tanımlanan WLAN teknolojisi, hastaneler, alışveriş merkezleri ve fuar merkezleri gibi kapalı alanlarda personel takibi amacıyla kullanılmaktadır. Çok yaygın bir şekilde kullanılması ve daha uygun maliyetli olması sebebiyle üzerine çok fazla çalışma ve araştırma yapılan bir teknolojidir. WLAN teknolojisi kullanarak yer tahmininde insan, duvar, ortamdaki metaller gibi farklı durum ve sebeplerden dolayı yetersiz ya da doğruluğu düşük yöntemler uygulanmaktadır [2].

Diğer taraftan RFID teknolojisi kızılötesinin bu çalışmada bahsedilen bazı dezavantajlarını ortadan kaldırması ve WLAN teknolojisinin de avantajlarını barındırması sebebiyle daha geniş araştırmalar ve uygulamalar için uygun bir teknoloji olarak son yıllarda öne çıkmaktadır. RFID teknolojisine dayalı çözümler daha az donanım kullanılması sebebiyle daha uygun maliyetli olmaktadır [4]. RFID, temassız iletişim, yüksek veri hızı ve güvenlik, görünür olmayan okunabilirlik, kompaktlık ve düşük maliyet gibi özelliklere sahiptir [5]. RFID cihazlar konusunda son yıllardaki farkındalık bu teknolojinin mobil kontrol, otomatik ev ağırları, kaynak takibi, güvenlik, personel takibi gibi amaçlarla kullanılmasına yol açmıştır [4]. Özellikle kapalı alanlarda kablolu ve kablosuz ağlar konusunda yapılan çalışmalar ve son yıllardaki gelişmeler sayesinde RFID teknolojisine dayalı konumlandırma konusu da yoğun bir şekilde araştırılmaktadır [6].

Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, yukarıda bahsedilen GPS, kızılötesi, Wi-Fi gibi teknolojilerin hem yüksek maliyetli hem de yetersiz kaldığı durumlarda madenler gibi çok zor koşullara sahip ortamlarda çalışanların ve makinelerin gerçek zamanlı konumlarını tespit etmeyi amaçlayan yarı otonom bir bilişim sistemi altyapısı ve algoritmasının oluşturulmasıdır [7]. RFID teknolojisi, Radyo Frekans (RF) sinyalleri sayesinde canlı cansız hareketli cisimlerden stok kontrolüne kadar farklı alanlarda kullanılmaktadır. Vaka çalışmasında maden ortamları kullanılacağı için zor şartlara dayanıklı, fiyatı uygun ve kullanımı kolay RFID donanımlar ve açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılmıştır [7-8-9-10].

Ayrıca birçok araştırmacı tarafından, hareket eden nesnelerin ve kişilerin, onlara ait özniteliklerin anlık ve doğru bir şekilde bulunması için kullanılmaktadır [11]. Bu çalışmada, zor koşullara dayanıklı olan RFID ekipmanı ve açık kaynak kodlu yazılımlar, maden ortamları için kullanılmıştır [12].

Bu sistem ve altyapı ile maden çalışanlarının anlık konumları ve çalışanlara ait öznitelikler, harita bilgi sistemi ekranında anlık bir şekilde takip edilebilecektir.

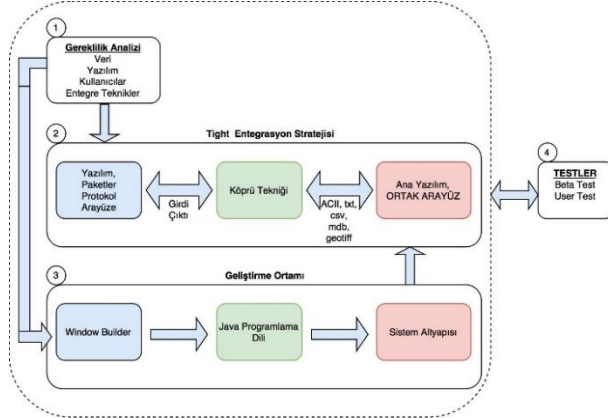
Bu sistem, madenlerde meydana gelen acil, ölümcül olabilecek olay ve kazalarda yer altında kalan maden işçilerinin konum bilgilerini verip gerçek zamanlı takiplerine imkân tanıdığı için acil eylem planlarının uygulanması sağlayacak ve böylece madende meydana gelebilecek ölümlü kaza oranı en aza indirilecektir. Ayrıca bu çalışmayla kazaların engellenmesine ve kazalardan sonra kaza analizlerinin yapıpı karar vericilerin kazaları engellemek amacıyla alması gereken önlemler konusunda onlara destek olacaktır. Yasal olarak 24 Mart 2016 tarihli 29663 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmeliğin 2.Maddesi ile yeraltı maden işletmelerinde personelin takip edilmesi 1.1.2017 tarihi itibarı ile hale zorunlu gelmiştir [13]. Bu yönetmelik, araştırmacıları son zamanlarda Türkiye'deki madencilerin konumlarının anlık tespiti için yenilikçi, özgün yöntemler ve algoritmalar geliştirmeye itmiştir. Bu sayede hem maden yöneticileri çalışanlarının ve ekipmanlarının verimini arttıracak hem de kazalarda kimin ne zaman, nerede olduklarını ve yaşayıp yaşamadıklarını tespit edeceklerdir.

Her bir RFID setinin kendi protokolü ve arayüzü olduğundan, RFID setlerinin protokolleri ve özellikleri başka bir yazılıma entegre edilmeli veya kullanılacak olan RFID seti için yeni bir uygulama geliştirilmelidir. Yeni bir yazılım geliştirmek, araştırmacı ve yazılımcılar için başarılı bir uygulama garantisi vermediğinden, bu çalışmada RFID protokolünün ve arayüzünün entegrasyonu tercih edilmiştir. Çünkü araştırmacı ve yazılımcılar teknik sorunlar, bütçe, zaman ve takım yönetimi ile uğraşırken, asıl amaçlarına yönelik konsantrasyonlarını kaybedebilmektedirler. İki veya daha fazla yazılımı entegre etmek için birkaç tane “Yakın Entegrasyon (Close Coupling)” veya “Gevşek Entegrasyon (Loose Coupling)” [14] veya daha modüler olan “Sıkı Entegrasyon (Tight Coupling)” [16] gibi farklı metodoloji bir çok araştırmacı tarafından farklı amaçlarla geliştirilmiştir. Son yıllarda, bu tarz entegrasyon çalışmaları entegre edilen yazılımların, verimliliklerini ve kullanım alanlarını arttırmak için yapılmaktadır [14-16-17].

“Yakın entegrasyon”, entegrasyon stratejilerinin en düşük seviyeli ve en yavaş olanıdır [18]. Entegre edilmiş yazılım içinde veri türünün dönüştürülmesi gerektiğinden, iki entegre yazılım arasında yeni bir arayüze ihtiyaç duyar [16]. Arayüz, verilerin dışa ve içe aktarılması için kullanılır ve sonuç, ana yazılımda görsellenir.

“Sıkı entegrasyon” (Şekil 1) iki veya daha fazla yazılımın grafik arayüz entegrasyonudur [19]. Sıkı entegrasyon her iki entegre yazılımın da ortak bir arayüz aracılığıyla erişilebileceği durumdur. Genellikle her iki yazılım da veri dosyalarını paylaşır, böylece iki sistem farklı veri formatları gerektirirse, kullanıcıyı etkilemeden ve verileri dosya paylaşımını arka planda gerçekleştirerek sonuçları ana arayüzde görseller. Bu entegrasyon yöntemi daha güçlü ve güvenilirdir, çünkü bir yazılım

veya onun çeşitli teknikleri doğrudan başka bir yazılımdan çağrılmakta ve kullanılmaktadır [20].



Şekil 1. Sıkı entegrasyon şeması (Tight coupling graph)

1960'lı yılların başında geliştiriciler, makro dilleri kullanarak "Gömülü entegrasyon (Embedded Coupling)" stratejisi kullanıyorlardı. Embedded entegrasyon en güçlü stratejidir, çünkü bir yazılımın makro dili kullanılarak doğrudan başka bir temel yazılıma yeni bir araç paketi eklenerek geliştirilmesidir [21]. Veri aktarım hızı ve entegrasyon seviyesi daha yüksek olduğu için bu entegrasyon stratejisi en iyisi olarak kabul edilmektedir. Fakat seçilen ana BS yazılımının makro bir dil içermemesi sebebiyle bu strateji tercih edilmemiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın temel amacı RFID donanımını, protokolünü ve arayüzünü açık kaynaklı bir BS yazılımına entegre etmek için araştırmacılara ve geliştiricilere yönelik bir metodoloji sunmaktır. Buna ek olarak, maden işçilerinin konumunu doğru bir şekilde tahmin etmek için özgün ve yenilikçi bir algoritma geliştirmektir. Bu çalışmada, bir RFID seti, açık kaynaklı bir BS yazılımı, özgün bir algoritma ve entegrasyon metodolojisi, maden işçilerinin gerçek zamanlı konumunu tahmin etmek için tamamlayıcı bir sistem olarak tasarlandı ve uygulandı. Sistemin başarısını kanıtlamak için bir tuz madeni seçildi ve test edildi. Madencilerin, mühendislerin ve yöneticilerin geribildirimini, daha fazla geliştirmek amacıyla değerlendirildi. Bu nedenle, bu çalışmanın temel amacı, yukarıda bahsedilen teknolojilerin kullanıldığı GPS, Kızılötesi, Wi-Fi gibi yüksek maliyetli ve yetersiz olduğu madenler gibi çok zorlu ortamlarda, madencilerin ve makinelerin gerçek zamanlı konumunu yüksek doğrulukla tespit etmeyi amaçlayan yarı otonom bir bilgi sistemi ve metodoloji oluşturmaktır.

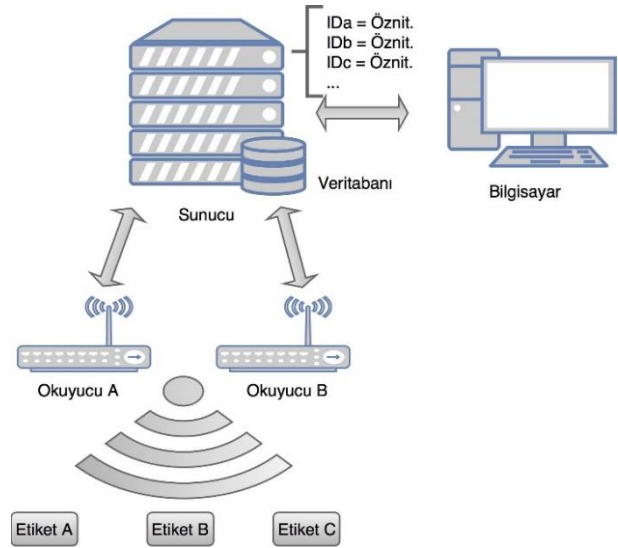
2. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Daha önce de belirtildiği gibi bütün kapalı alanlar, durumlar ve ihtiyaçlar için tek bir anlık takip metodolojisi yoktur. Farklı durumlar, ihtiyaçlar ve durumlar için optimum denilebilecek farklı metodolojiler ve algoritmalar geliştirilebilmektedir. Bu çalışmada da vaka çalışması

amacıyla madenler seçildiği için yer altı madenlerinin ihtiyaç ve durumları değerlendirilip ona göre teknolojiler tespit edilmiş ve uygulanmıştır.

Literatür çalışmalarından da anlaşılacağı gibi madenler için en uygun ve optimum çözümün RFID teknolojisi olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmalar da RFID teknolojisinin hareket eden objelerin yerinin hassas bir şekilde tespiti için uygun olduğunu belirtmiştir [22].

RFID etiketleri RFID okuyucular ile iletişim kurmak için radyo frekansı enerjisi kullanır. Bununla birlikte, etiketler enerji ihtiyaçlarına göre farklılık göstermektedirler. Aktif etiket, dâhili bir batarya ile RF iletişim devresine güç verir. Okuyucular böylece çok düşük seviyeli sinyaller gönderir ve etiket daha güçlü sinyaller ile yanıtlayabilirler [4]. RFID okuyucuları iki ara yüze sahiptir. İlki menzil aralığında etiketlerin kimliklerini ve sinyal güçlerini almak için iletişim kuran RF arayüzü. İkincisi iletişim arayüzüdür. Genellikle IEEE 802.11 veya 802.3 sunucularla iletişim kurar [4]. RFID teknolojisine dayalı konumlandırma yöntemleri üzerine on yıldan fazladır çeşitli seviyelerde ve amaçlarda araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların çoğu 100 metreye kadar olan uzun okuma aralığı nedeniyle aktif etiketler üzerine yapılmıştır [7-23-24].

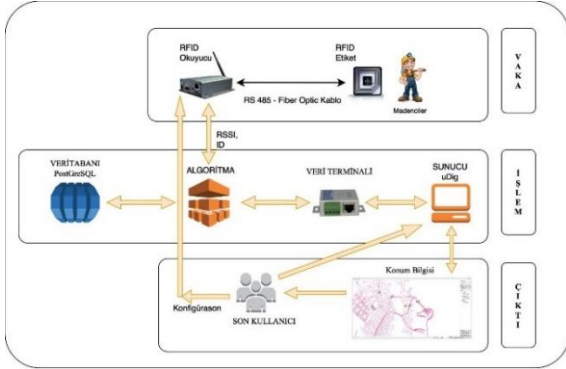


Şekil 2. Klasik RFID sisteminin mimarisini (The architecture of the classic RFID system) [3]

Şekil 2'deki mimari RFID sistemlerinin arkasındaki çalışma prensibini açıkça göstermektedir. Temel olarak, ortamdaki etiketler, RFID okuyucuları tarafından yayınlanan sinyali yanıtlarlar. Okuyucular tarafından toplanan sinyal kablolu bir iletişim ağı ile bir sunucuya gönderilir. Son olarak, geliştirici veya araştırmacılar sinyali çeşitli amaçlarla işleyebilir.

Şekil 3, RFID arayüzü ve BS yazılımını entegre etmek için uygulanan metodolojiyi göstermektedir. Metodoloji

üç katmandan oluşmaktadır: Vaka, İşlem ve Çıktı Katmanları.



Şekil 3. Sistem metodolojisi ve akış yönü (System methodology and flow direction)

Vaka katmanında hareket halinde olan madenciler üzerlerinde taşıdıkları RFID etiketlerinin ortama gönderdiği RSSI değerlerini RFID alıcılara göndermektedirler. RSSI değerlerini toplayan RFID okuyucular RS 485 kablosu ile verileri veri terminaline göndermektedirler. Geliştirilen algoritma her okuyucuya sırasıyla sorgu gönderip sinyal alıp almadığını, almış ise RSSI değerini veri tabanına kaydetmektedir.

İşlem katmanında, bu çalışmanın ilk bölümünde bahsedilen sıkı entegrasyon stratejisi kullanılarak geliştiriciler tarafından yapılmaktadır. Algoritma kısmında konumlandırma algoritması, RFID protokolü ile konuşma, veri tabanı ve veri terminali ile iletişim java programlama dili ile gerçekleştirildi. Veri terminali Cat-6 kablo ile veri tabanı ile karşılıklı veri alışverişini yapıp kendisinde toplanan verileri sunucuya yani uDig CBS yazılımında çizilen maden haritasında madencilerin anlık konumu görselendi.

Çıktı katmanında, BS sisteminin harita ekranında algoritma sonucu konumları belirlenen madenciler anlık bir şekilde görüntülendi.

Şekil 1'deki birinci basamakta, son kullanıcı veya geliştiriciler tarafından RFID donanımının konfigürasyonu gerçekleştirildi. RFID okuyucuları, RFID etiketleri ve madenciler bu katmanın ana bileşenidir.

Bu çalışmada kullanılan RFID cihazların menzili 300 m olup aktif RFID etiketler kullanıldı. Sistem donanımı olarak etiket, okuyucu ve sunucu bulunmaktadır. Okuyucu ortama sinyal yaymaktadır. Etiket ortama yayılan sinyale RSSI değeri ile cevap vermektedir. Sunucu ise verilerin toplandığı ve işlendiği donanımdır. İkinci basamakta, etiketlerinden toplanan sinyal, RS 485 kablosu veya Fiber Optik Kablo aracılığıyla RFID alıcılara aktarıldı.

Çizelge 1. Donanım özellikleri (Hardware features)

	Okuyucu	Etiket	RS-485	Fiber
Frekans	433 Mhz	433 Mhz		
Hassasiyet	1Mbps@-85dBm			
Menzil	300 m	300 m	2200 m	10000 m
Ara yüz	RS485/LAN			
Okuma	Çoklu			

Çalışmada kullanılan donanımların entegre edileceği yazılımların da açık kaynak kodlu ve ücretsiz olmasına dikkat edildi. Ayrıca yer altı madenlerinde, mekânsal analiz ve anlık konumlandırmaya da ihtiyaç duyulması sebebiyle mekânsal bilgi verme altyapısı olan bir yazılım olan uDig CBS tercih edildi. Bu yazılım hem ücretsiz, hem açık kaynak kodlu bir yazılım olup java programlama dili ile geliştirildi [13].

Sahadan toplanan verilerin ve özniteliklerin sürekli veri tabanına kaydedilmesi amacıyla açık kaynak kodlu PostgreSQL tercih edildi. PostgreSQL'in seçilmesinin diğer bir sebebi ise shape formatındaki verileri de içinde barındıran eklentilere müsaade etmesidir. Shape dosyası, coğrafi bilgi sistemi yazılımları için popüler bir coğrafi vektör veri formatıdır.

Şekil 3, sıkı Entegrasyon stratejisini ve onun üç ana bileşeninin yeniden tasarımı göstermektedir. Bu stratejide, sıkı entegrasyon stratejisinin sağ tarafında bir yazılım paketi, protokol veya arayüz bulunur. Sağ tarafta, her iki entegrasyon için ortak arayüz olan açık kaynak kodlu BS yazılımı seçildi. Bu yazılım, görüntüleme, güncelleme, analiz etme ve düzenleme amacıyla kullanıldı. Sol tarafta, RFID protokolü ve arayüzü ana yazılımla bütünleştirilmek üzere kullanıldı. Bu iki yazılım arasında bu iki yazılımı entegre etmek için bir köprü tekniği kullanıldı. Gerekli olan bir kaç java paketi ile birlikte RCaller [25] köprü tekniği ana ve ara yazılım arasında veri taşınması, düzenlenmesi ve görsellenmesi amacıyla kullanıldı.

Madencilerin gerçek zamanlı konumunu ve analiz sonucunu yedinci basamakta BS yazılımının harita ekranında gösteren çıktı kısmıdır. Son kullanıcılar, sekizinci basamakta madencilerin gerçek konumunu anlık bir şekilde harita ekranından takip edebilmektedirler. Bu katmandaki son kullanıcılar RFID donanımı arayüzünü kullanarak okuyucuları, etiketleri ve veri terminalerini yapılandırır.

3. ALGORİTMA (ALGORITHM)

Gerçek zamanlı konumlandırma için üç ya da daha fazla RFID okuyucunun kullanılarak konumlandırması konusunda birçok araştırmacının birden farklı algoritma çalışması bulunmaktadır. Gaussian algoritması, trilateration, oran-orantı algoritmaları farklı hassasiyetlerde bile olsa anlık konumlandırma amacıyla geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Fakat kapalı bir ortam olan madenlerde tek okuyucu ile konumlandırma yapmak daha zor ve doğruluk hassasiyeti düşük olacaktır. Sistemin doğru ve hassasiyeti yüksek bir şekilde çalıştırmak amacıyla geliştirilen algoritmanın da yenilikçi ve özgün olması gerekmektedir. Geliştirilen algoritmada tüm madenin RFID etiketleri ile RSSI değerlerine göre sinyal haritası oluşturulmuştur. Şekil 2'de de görüldüğü gibi referans noktası olarak seçilen konumdan itibaren bir doğrultuda bir sonraki okuyucuya kadar sinyal haritası oluşturulmuştur. Her noktadan alınan sinyal sıklığı tespit edilmiştir. En sıklıkla tekrar eden sinyal o noktanın sinyal indeksi olarak kabul edilmiştir. Aynı sinyal gücü alındığında o sinyalin hangi noktayı temsil ettiği bilinmekle birlikte oluşabilecek aynı

sinyal-farklı nokta hatası için 2 tane filtre uygulanmıştır. Bu filtrelerden ilki komşuluk sorgusu diğeri ise alınan sinyalin okuyuculara olan uzaklığına göre konumlandırılmasıdır. Yani bir sinyal birden fazla noktada aynı değeri veriyorsa ilk olarak o sinyal noktasından önceki sinyal noktası sorgulanır ve ona göre o sinyalin hangi noktaya ait olduğu tespit edilir. Diğer filtre ise sinyalin hangi yönde ilerlediğini belirlemektedir. Konumlandırma algoritması aşağıdaki gibidir.

$$1) \vec{p}_t = f(\vec{r}_t, \vec{d}_t, \vec{v}_{t-1}, \vec{p}_{t-1})$$

\vec{p}_t t anındaki konum bilgisi

\vec{r}_t t anındaki RSSI bilgisi

\vec{d}_t t anındaki sinyal gönderen okuyucu bilgisi

\vec{v}_{t-1} t-1 anındaki hız bilgisi

\vec{p}_{t-1} t-1 anındaki konum bilgisi

\vec{v}_{t-1} ve \vec{p}_{t-1} bilgisine göre (ve tabii ki de maden haritasına göre) bir sonraki anda nerede olabileceği olasılık yoğunluk fonksiyonu çıkartılır (probability density function)

$$2) X1 = X_c(\vec{v}_{t-1}, \vec{p}_{t-1})$$

Yine aynı şekilde \vec{r}_t ve \vec{d}_t bilgisine göre nerede olabileceği olasılık yoğunluk fonksiyonu çıkartılır (probability density function). Burada yukarıda bahsedilen sinyal haritasından faydalanılır.

$$3) X2 = X_n(\vec{r}_t, \vec{d}_t)$$

Sonuç olarak her iki yoğunluk haritası birleştirilir ve nihai yoğunluk haritasına göre en yüksek ihtimali olan nokta \vec{p}_t olarak belirlenir.

$$4) \vec{p}_t = \text{Pmaks}[X] = \text{Pmaks}[X1 * X2]$$

$$5) \vec{p}_t = \text{Pmaks} \int X_c(\vec{v}_{t-1}, \vec{p}_{t-1}) * X_n(\vec{r}_t, \vec{d}_t)$$

Gerçek zamanlı konumlandırma için geliştirilen algoritma bu çalışmanın kilit noktası olmadığından burada ayrıntılı olarak ele alınmadı ve değerlendirilmedi. Bununla birlikte, madencilerin yer altı madenlerinde anlık konumlandırılması doğru bir şekilde tahmin edildi ve BS yazılımının harita ekranında başarıyla gösterildi. Bu, RFID donanım protokolünün ve arayüzünün açık kaynaklı bir yazılıma başarıyla entegre edildiği anlamına gelir.

RFID arayüzü (Şekil 4), RFID Protokolü (Çizelge 2), RCaller olan köprü tekniği ve birkaç Java paketi ve BS ana yazılımı bu entegrasyon sisteminin temel parçalarıdır. Çizelge 2, RFID protokolünün küçük bir bölümünü göstermektedir. Bu protokol, Eclipse ortamında Java programlama dili tarafından kodlanıp geliştirildi. Algoritma, kod ve entegre edilmiş sistem yazılımına www.sda4udig.com/en/mineTrack adresinden ulaşılabilir.



Şekil 4. RFID arayüzü

Çizelge 2. RFID protokolünden küçük bir kısım (A small part of the RFID protocol)

No	Açıklama	Format	Not
FFF	Enter configure mode	FFF	the instruction can work, after entering the configuration mode
00	Set again the distress time	*00,X#	X: [0, 3600], unit 1S, 1 is default, 0 will disable this function
01	Set ID	*01,X#	X:6bits, range [A-F] and [0-9]
04	Set the serial data contain RD05's ID	*04,X#	X: 0-No,default 1-Yes
...

Bu çalışma, önceki literatür araştırmalarından özgün ve farklıdır. Normalde, hareketli nesnelerin ve kişilerin lokalizasyonu için uygulanan algoritmalar en az üç okuyucunun RSSI değerine göre yapılmaktadır, ancak bu uygulama ve algoritma yalnızca bir okuyucuya göre geliştirildi. Bu nedenle, madencilerin yönü, konumları ve doğruluk hassasiyeti tatmin edici olmalıdır. Bunu yapmak için madendeki madenlerin yönü, geliştirilen algoritma ve metodoloji ile en fazla 20 metre hassasiyetle konumlandırıldı. Komşuluk filtresi, madendeki birkaç noktanın aynı RSSI değerini gönderebileceği ihtimali üzerine uygulanan ve yanlış RSSI noktası ile karıştırılmasını engelleyen bir filtredir. Ayrıca sinyal haritası oluşturulurken de bir sinyal noktası için yüzlerce sinyal toplandı ve o sinyal noktası için bir sinyal aralığı belirlendi. Yani her RSSI noktası kesin bir sinyal gücüne değil bir sinyal aralığına bağlıdır. Bu filtreler madencilerin madendeki konumlarının doğruluğunu arttırdı ve geliştirilen algoritmanın özgünlüğü ispatladı.

Üstelik 1800 metre uzaklıktaki okuyucular tarafından toplanan sinyalleri taşımak, araştırmacılar için zorlu bir konudur. Bu amaçla Cat5, Cat6, Leaky Feeder, RS232, RS485 gibi çeşitli kablolar kullanıldı. Bununla birlikte, Cat5 ve Cat6 kablosu sinyali 100 metreden daha uzun mesafeye taşıyamadı. Ayrıca Leaky Feeder kablosu farklı altyapıya sahip olması ve her 300 metreden bir tekrarlayıcılarla güçlendirilmesi çok büyük bir dezavantaj olarak ortaya çıktı. RS232 kablosu da sinyalleri uzak mesafelere taşımak için bu çalışma için yeterli olmadı. Bu nedenle, RS485 ve Cat5 kablosunun kombinasyonu, 3000 metreden daha fazla sinyal taşıyarak bu projenin başarısına katkı sağladı.

Ayrıca, toplanan RFID sinyalinin sona erdirilmesi gerekmektedir. Daha sonra sonlandırılan veriler madencileri gerçek zamanlı olarak konumlandırmak için işleme tabi tutulmalıdır. Bu amaçla seri-RS485 dönüştürücü kullanıldı ve veriler daha fazla işlem için PostgreSQL'de saklandı. Tüm bu parçalar ve çözümler, metodolojinin benzersizliğini ve problemin sadece teorik olarak değil aynı zamanda pratik olarak Türkiye'deki gerçek madenlerde kullanılmasıyla çözümlenmesini de ispatlamaktadır.

Aslında, yenilikçi ve özgün bir uygulama geliştirmek, zorlayıcıdır ve zaman, maliyet, yönetim gibi birçok dezavantaja sahiptir. Bu çalışmada, açık kaynak kodlu bir CBS yazılımı ve bir RFID arabirimi ve protokolü, baştan sona bağımsız bir uygulama geliştirmek yerine bir entegrasyon yöntemi seçildi ve başarılı bir şekilde uygulandı.

4. VAKA ÇALIŞMASI (CASE STUDY)

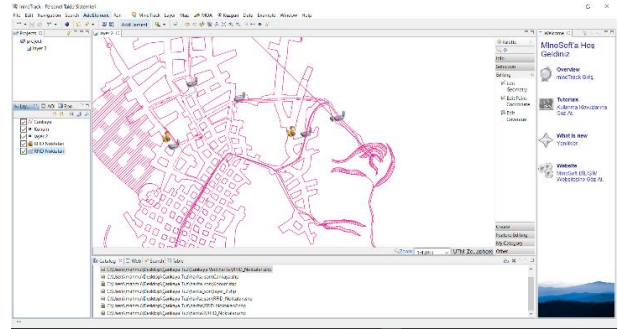
Bu çalışmada, algoritmanın ve metodolojinin başarısını göstermek için bir vaka çalışması yapıldı. RFID üzerinde çok sayıda çalışma ve ekipman olmasına rağmen, deneysel bir ortam yaratmak ve gelişmiş bir sistemi test etmek kolay değildir [26]. Seçilen metodolojinin, donanımların, yazılımların, programlama dillerinin tamamının entegre bir şekilde çalışabildiğini ispatlamak amacıyla Çankırı Tuz madeni testler ve geliştirmeler için tercih edildi. Madenin içindeki sistem donanımı ve yazılımını kurmadan önce, harita Şekil 6'da gösterildiği gibi BS yazılım harita araçlarıyla (pembe renkle) çizildi.



Şekil 5. a) RFID okuyucu, b) RFID etiket, c) Veri terminali (a) RFID reader, b) RFID tag, c) Data terminal

5 adet RFID cihazı 1800 m uzunluğundaki madene Şekil 6'daki gibi yerleştirilmiştir. Bu 5 okuyucu (Şekil 5a), madene kurulan 1800 m RS 485 kablosuyla bağlanmıştır. Bu 5 okuyucu bir veri terminaline bağlandı ve veri terminali (Şekil 5c) Cat 6 kablosu vasıtasıyla bir sunucuya ve dolayısıyla veritabanına bağlandı. Toplanan bilgiler ve RFID etiketlerinden gelen sinyal madendeki madencilerin konumunu tahmin etmek için hazır hale getirildi. İki maden işçiye, Şekil 5b'de gösterilen aktif RFID etiketler verildi. Madenciler belirli konumdaki her bir etiketin RSSI değerlerini toplamak için tüm RFID okuyuculardan en az on kez geçtiler. Her seferinde yüzlerce RSSI değeri toplandı ve her nokta için bir RSSI aralığı belirlendi. Toplanan tüm RSSI değerleri ve tahmini konumları PostreSQL veritabanına eklendi. RSSI değerine göre her konumun indeksini tanımlamak için toplanan sinyallerin modu belirlendi. Ardından, metodoloji ve algoritmanın sonucunu görmek amacıyla vaka çalışması test edildi. Madencilerin giriş ve çıkışları ve madendeki hareketleri anlık bir şekilde sistem odasında izlendi. Şekil 6 madenin BS ortamındaki haritasını ve madencilerin maden içerisindeki anlık bir konumunu göstermektedir. Aynı vaka çalışması 15 tane madenci ile tekrarlanmış ve sadece 1 çalışanın zaman zaman haritada görüntülenmediği gözlemlendi. Bunun en temel sebebi ise madencinin araba ile 30 km/s ile RFID alıcıların yanından geçmesidir. Genel itibarı ile takip sistemi, altyapısı ve geliştirilen algoritma

ile özellikle maden çalışanlarının, yöneticilerinin ve mühendislerin geri dönüşleri göz önüne alındığında tatmin edici doğruluktur.



Şekil 6. Madencilerin Çankırı tuz madeni ocağındaki anlık konum ekran görüntüsü (Snapshot of miners in Çankırı salt mine screen image)

5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER (EVALUATION AND RECOMMENDATIONS)

Yenilikçi, özgün bir metodoloji ve algoritma, bir RFID arayüzünü ve protokolünü bir BS yazılımına entegre etmek amacıyla uygulandı. Entegrasyonun amacı, hareket eden maden çalışanlarını gerçek zamanlı olarak takip etmek olduğundan, mekânsal altyapı özelliğine sahip bir yazılım kullanıldı. Algoritmada yer tamini için RSSI değeri kullanıldı. RFID etiketlerinin RSSI mod değeri, madendeki her konumun indeksi olarak seçildi. Bu çalışmada, java programlama dili hem entegrasyon hem de algoritma geliştirmek amacıyla kullanıldı. Özet olarak, yazılımın entegrasyonu, araştırmacılar ve geliştiriciler için aşağıdaki gibi birçok avantaj sağlamıştır:

- Zamandan tasarruf
- Geliştiriciler araç geliştirme yerine amaca odaklanırlar
- Arıza olasılığını azaltır
- Projenin başarısını artırır
- Küçük bir ekip yeterlidir
- Esnekliği artırır
- Daha güçlü yazılımlar geliştirilir

Madenciler, mühendisler ve yöneticiler için 20 metre hassasiyetinde konumlama yeterli ve tatmin edici olarak görüldü. Ayrıca, bu çalışma madende bulunan madencilerin konumunu tahmin etmek için gelişmiş, özgün ve yenilikçi bir algoritma geliştirilmesi amaçlandı ve başarılı bir şekilde uygulandı. Gelecekte, trilateration, gaussian gibi farklı algoritmalar, mevcut çalışmayı karşılaştırmak için uygulanacaktır. Metodolojik olarak konumlandırmanın doğruluğu sistematik bir şekilde ölçülememesi bu çalışmanın başka bir eksik noktasıdır. Ayrıca, RSSI değerinin toplanması zaman harcaması farklı algoritma veya metodoloji kullanılarak kolaylaştırılmalıdır.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Kapalı ortamlar için, özellikle de madenler için, RFID teknolojisi en uygun teknolojik çözümlerden bir tanesi olmaktadır. Bunun yanı sıra mekânsal bilgi ve analiz gereksinimlerinden dolayı altlık olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri böyle bir sistem için en uygun çözümlerden bir tanesidir. Bu çalışma da açıkça göstermiştir ki açık kaynak kodlu yazılımlar hem sektöre hem de akademik araştırmalara önemli katkılar sağlamaktadır.

Farklı frekans, menzil ve protokole sahip RFID cihazların farklı ve çok fazla olması sebebiyle kullanılacak cihazlar çalışmanın da başarısında anahtar rol almaktadır. Ayrıca sinyal haritası oluşturulurken hangi noktada hangi sıklıkta hangi sinyal gücünün alındığı iyi analiz edilmelidir.

Kullanılan algoritmadan bahsetmek gerekirse tek RFID okuyucu ile yapılabilecek konumlandırmalar da kısıtlamalar olmakla birlikte madencinin hangi yönde ilerlediğini ve hangi okuyucunun yanından sinyal aldığını tespit eden filtreler sistemin doğru çalışmasını sağlamıştır. Bunu yaparken bir önceki sinyal alınan nokta, en son sinyal verilen noktanın hangi okuyucuya mesafe olarak daha yakın olduğu ve en son sinyal alınan noktanın sağında ve solunda hangi RFID okuyucularının olduğu algoritmayı iyileştirmiştir.

Birden fazla cihazla sinyal haritası oluşturulmadan anlık konum belirleme bu çalışmanın devamında yapılması gereken bir çalışma olacaktır. Ayrıca sistemin performansı için daha fazla çalışmaya ve yeni yöntemlere ihtiyaç vardır. Çalışmanın diğer bir kısıtı ise 300 m'lik menzili olan cihazlardır. 300 m menzilin dışında kalan bölgeler için bu sistemle sadece tahmin yapılabilmektedir.

Özetlemek gerekirse, seçilen donanım, yazılım ve geliştirilmiş metodoloji ve algoritma madencilerin konumlarını tatminkar bir şekilde tahmin etmektedir. RFID sinyallerini uzun mesafelere taşımak birkaç kablo ve dönüştürücü kombinasyonunu kullanarak çözülür. Sonunda ve en önemlisi yeni uygulama geliştirmek yerine entegrasyon stratejisi uygulanmıştır. Bu çalışma sayesinde geliştirilen sistem Türkiye'deki birkaç yeraltı madenini başarıyla kullanmaktadır.

KAYNAK KODLAR (SOURCE CODE)

MineTrack kararlı bileşenleri ve kod dökümanlarını <http://sda4udig.com/en/minetrack> adresinden ulaşılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

1209 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Prof. Dr. H.Şebnem Düzgün'e, Çankırı Tuz Madeni yöneticilerine ve Genel Müdürü Abdullah Kocamış'a, Prof. Dr. Nevzat Onur'a, Prof. Dr. Mehmet Eroğlu'na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Curran, K. and Norrby, S., "RFID-enabled location determination within indoor environments", *International Journal of Ambient Computing and Intelligence*, 1(4): 63-86, (2009).
- [2] Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I., "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 11(1): 13-32, (2009).
- [3] Amanna, A., Agrawal, A. and Manteghi, M., "Active rfid for enhanced railway operations", *ASME. In: ASME 2010 Rail Transportation Division Fall Technical Conference*, 31-37, (2010).
- [4] Bouet, M. and Santos, A., "RFID tags: positioning principles and localization techniques", *In: 2008 1st IFIP Wireless Days*, Dubai, 1-5, (2008).
- [5] Yamano, K., Tanaka, K., Hirayama, M., Kondo, E., Kimura, Y. and Matsumoto, M., "Self-localization of mobile robots with rfid system by using support vector machine", *In: Proc. IEEE int. Conf. Intelligent robotics and system. IEEE*, 3756-3761, (2004).
- [6] Cangialosi, A., Monaly Jr., J. and Yang, S., "Leveraging RFID in hospitals: Patient life cycle and mobility perspectives", *IEEE Communications Magazine*, 45(9): 18-23, (2007).
- [7] Ni, L., Liu, Y., Lau, Y. and Patil, A., "LANDMARC: Indoor location sensing using active rfid", *Wireless Networks*, 10(6): 701-710, (2004).
- [8] Chen, T., Chang, C., Lin, J. and Yu, H., "Context-aware writing in ubiquitous learning environments", *In: Fifth IEEE International Conference on Wireless, Mobile, and Ubiquitous Technology in Education*, 67-73, (2008).
- [9] Smith, J., Fishkin, K., Jiang, B., Mamishev, A., Philipose, M., Rea, A., Roy, S. and Sundara-Rajan, K., "RFID-based techniques for human-activity detection" *Communications of the ACM*, 48(9): 39, (2005).
- [10] Ravindranath, L., Padmanabhan, V. and Agrawal, P., "Sixthsense: Rfid-based enterprise intelligence", *In: International Conference on Mobile systems, applications, and services*, 253-266, (2008).
- [11] C. Hekimian-Williams, B. Grant, Xiuwen Liu, Zhenghao Zhang and P. Kumar, "Accurate localization of RFID tags using phase difference", *2010 IEEE International Conference on RFID (IEEE RFID 2010)*, Orlando, FL, 89-96 (2010).
doi: 10.1109/RFID.2010.5467268
- [12] Cavour, M. and Yılmaz, C., "Madenlerde Yazılım ve İş Güvenliği", *Mimar ve Mühendisler Dergisi*, [online] (8), pp.70-71. Available at: <http://doczz.biz.tr/doc/164792/pdf-i%CC%87ndir> [Accessed 27 Mar. 2017], (2016).
- [13] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı., "*Maden İşyerlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik*", R29663 (Mart): 3., T.C. Resmi Gazete (2016).
- [14] Goodchild, M., Haining, R. and Wise, S., "Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities", *International journal of geographical information systems*, 6(5): 407-423, (1992).
- [15] Anselin, L. and Getis, A., "Spatial statistical analysis and geographic information systems", *The Annals of Regional Science*, 26(1): 19-33, (1992).

- [16] Fotheringham, A., and Rogerson, P., “*Spatial analysis and GIS. London*”, Taylor & Francis, (1994).
- [17] Goodchild, M., “Stepping over the line: technological constraints and the new cartography”, *Cartography and Geographic Information Science*, 15(3): 311-319, (1988).
- [18] Karimi, H. and Houston, B., “Evaluating strategies for integrating environmental models with GIS: Current trends and future needs”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 20(6): 413-425, (1996).
- [19] Brandmeyer, J. and Karimi, H., “Coupling methodologies for environmental models”, *Environmental Modelling & Software*, 15(5): 479-488, (2000).
- [20] Bailey, T. and Gatrell, A., “*Interactive spatial data analysis*”, Longman Scientific & Technical, 1st ed. Harlow Essex, England, (1995).
- [21] Sui, D., and Maggio, R., “Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects”, *Computers, Environment And Urban Systems*, 23(1): 33-51, (1999). [http://dx.doi.org/10.1016/s0198-9715\(98\)00052-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0198-9715(98)00052-0)
- [22] Hahnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K. and Philipose, M., “Mapping and localization with RFID technology”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1015-1020, (2004).
- [23] Bahl, P. and Padmanabhan, V., “RADAR: An in-building rf-based user location and tracking system”, *INFOCOM*, (2000).
- [24] Öktem, R. and Aydın, E., “An rfid based indoor tracking method for navigating visually impaired people”, *In Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 18(2), (2010).
- [25] Satman, M., “RCaller: a software library for calling R from java”, *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 4(15): 2188-2196, (2014).
- [26] Welbourne, E., Balazinska, M., Borriello, G. and Brunette, W., "Challenges for Pervasive RFID-Based Infrastructures", *Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom Workshops '07. Fifth Annual IEEE International Conference on, White Plains, NY*, 388-394, (2007).