

# DİKGEN EŞLEŞTİRME ALGORİTMASIYLA FERROMANYETİK HEDEF KONUMLAMA VE TANIMA

## ORTHOGONAL MATCHING PURSUIT FOR FERROMAGNETIC TARGET LOCALIZATION AND IDENTIFICATION

Sajjad Baghaee<sup>1</sup>, Sevgi Zübeyde Gürbüz<sup>2,3</sup>, Elif Uysal-Bıyıkoglu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
sajjad@baghaee.com, elif@eee.metu.edu.tr

<sup>2</sup>TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü  
sevgi.gurbuz@uzay.tubitak.gov.tr

<sup>3</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
szgurbuz@etu.edu.tr

### ÖZETÇE

Kablosuz algılayıcı ağlarında (KAA) manyetik algılayıcıların kullanımı diğer algılayıcı türlerine göre az çalışılmış bir konudur. Varolan çalışmalarda genellikle büyük ferromanyetik hedeflerin (otomobil, uçak vb.) sezimi yapılmıştır. Ayrıca, algılayıcının ölçtüğü manyetik alan yoğunluğundaki değişim genellikle yalnızca hedefin algılayıcı mevkiini geçip geçmediği ve ne yönde geçtiği gibi basit bilgiler edinmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada, 30 cm çapında bir sezgi alanı içinde küçük boyutlu hedefler üzerinde manyetik algılayıcıların algılama sınırlarını anlamak amaçlanmıştır. Dikgen eşleştirme algoritmasını (orthogonal matching pursuit: OMP) kullanarak hedeflerin tanımlanması, tesbiti ve izlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Hedef tesbit ve takip yeteneği hakkında elde edilen ek bilgiler ileri çalışmalarda enerji bakımından verimli, akıllı, manyetik algılayıcı ağlarının tasarımında kullanılabilir.

### ABSTRACT

The use of magnetic sensors in wireless sensor networks is a topic that has gained limited attention in comparison to that of other sensors. Research has generally focused on the detection of large ferromagnetic targets (e.g., cars and airplanes). Moreover, the changes in the magnetic field intensity measured by the sensor have been used to obtain simple information, such as target direction or whether or not the target has passed a certain point. This work aims at understanding the sensing limitations of magnetic sensors by considering small-scale targets moving within a 30 cm radius. Target detection, tracking and identification were studied using the Orthogonal Matching Pursuit (OMP) algorithm. This information can then be used to design energy-efficient, intelligent magnetic sensor networks.

### 1. Introduction

Günümüzde kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır; sıcaklık, nem, hareket sensörleri yanısıra, sismik algılayıcıların kullanımı yaygındır. En yaygın kullanım alanlardan biri KAA'nın kapsadığı alandaki nesnelerin sezimi, sınıflandırılması veya tanınması, konumlandırılması, ve takibidir. Bu tür uygulamalarda sistemin (ağın) enerji tüketimini etkileyen önemli faktörlerden biri sensör düğümlerinin konumu ve kapsadığı alandır. Tipik olarak, kablosuz algılayıcı düğümlerin RF iletişim alanı, algılama alanına göre çok daha geniş olmaktadır. Düğümlerin kapsamlarının birbiriyle örtüşmesi veri doğruluğunu ve sezim/kestirim başarımını artırır da, haberleşme bakımından gereksiz yere yoğun bir ağa neden olacak, bu hem donanım yatırımını hem de tüketilen toplam enerji miktarını artıracaktır. Öte yandan, sensörler seyrek bir şekilde- sensör kapsamlarında örtüşme olmadan – yerleştirildiğinde aynı alan daha az sensör ile gözlemlenebilir.

Doğal olarak seyrek (*sparse*) yerleştirilmiş algılayıcılar ile algılama görevini başarıyla gerçekleştirmek tasarım bakımından zorluklar getirmektedir. Kör bölgelerin (*blind zones*) bulunması, bu bölgelerde doğrudan hedef sezimi yapılamamasından dolayı KAA ancak hedefin daha önce kapsamına girdiği algılayıcıların verilerine dayanarak mevcut pozisyonunu tahmin edebilmektedir. Problemi ilgi çekici hale getiren başlıca neden de budur. Hedefin olası güzergahı tahmin edildiğinde hem ağın hedef takip başarımı artırılabilen, hemde ağın içinde bulunan sensörler daha akıllıca, enerji bakımından verimli bir şekilde kullanılabilmektedir. Örneğin, hedefin güzergahından uzak algılayıcıları uyku durumu gibi pasif, az enerji harcama bir konuma getirerek – KAA'nin enerji tüketimi azaltılabilir.

Son zamanlarda manyetik algılayıcı ağların kullanımı büyük çapta artmıştır, ve özellikle araç sezimi ve takibi için uygulanmıştır. Örneğin, trafik örüntüleri tahmin etmek ve ölçmek [1,2] veya akıllı trafik yönlendirme sistemlerin bir parçası olarak boş araç park yerleri tespit etmek için [3,4] kullanılmışlardır. Manyetik algılayıcı ağlar havalimanlarında

uçakların park etmelerini düzenleme amacıyla çoklu hedef sezimi, kestirimi ve tanıma için de önerilmiştir [7]. Daha önce yapılan çalışmalarda, hedeflerin deneysel olarak ölçülen manyetik imzaları – i.e., hedefin belirli bir hareket sırasında manyetik alanda oluşturduğu değişim - bilinmeyen nesnelere imzalarıyla karşılaştırılarak sınıflandırma ve tanıma için de kullanılmıştır [2,5,6]. Bu tür çalışmalarda, hedefin varlığını tespit etmek için manyetik alanda yaratılan hızlı değişimlerden yararlanılmaktadır. Hedefin pozisyonu ise yaklaşık olarak manyetik sensörün pozisyonuyla aynı olarak alınmaktadır.

Bu çalışmada farklı bir yaklaşım uygulanmaktadır. Manyetik alan ölçümleri hedefin kapsama bölgesinin içindeki yerini tespit etmek için kullanılmaktadır. Böylece, seyrek manyetik KAA'larda sadece hedefin bir sensöre yakın olup olmaması değil de kapsama bölgesinin hangi tarafında olduğu, bölgeye ne taraftan girdiği, ne taraftan çıktığı ve böylece hedefin hangi sensöre doğru yöneldiği de tahmin edilebilecektir. Ayrıca, hedef sınıflandırma için manyetik imza kullanmak yerine, konum bilgilerinin hesabı için de kullanılabilir dikket eşleştirme (*orthogonal matching pursuit: OMP*) algoritması kullanılmaktadır. OMP algoritması daha önce sinyal kurtarma [10,11], radarla insan sezimi [12], ve yere işleyen radarla (ground penetrating radar: GPR) metal hedef sezimi ve konumlanması [13] için kullanılmış olmasına rağmen, manyetik KAA'larda daha önce kullanılmamıştır.

İleriki bölümlerde, ilk olarak, çalışma için kurulmuş olan laboratuvar düzeneğinin mimarisi ve donanımı Bölüm II'de takdim edilmektedir. Bölüm III'de OMP algoritması ve manyetik algılayıcılarla hedef sezimi, konumlanması, ve tanıma için uygulaması özetlenmektedir. Bölüm IV'de konumlama ve tanıma sonuçlarımız verilmektedir, özellikle bu çalışmada uygulanan OMP-temelli yaklaşımın daha önce elde edilen 'simulated annealing' temelli yöntemine [8] göre daha fazla bilgi sağladığı, birden çok hedefin kapsamda bulunması durumunda da çoklu hedef sezimi, konumlanması ve tanıma için kullanılabilir deneysel sonuçlarla gösterilmektedir. Gelecekte yapılabilecek ilgili çalışmalar ise Bölüm V'de tartışılmaktadır.

## 2. SİSTEM MİMARİSİ

Bu çalışmada geliştirilen sezim, konumlama ve sınıflandırma algoritmalarının başarımı ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde kurulan manyetik WSN ile deneysel olarak tespit edilmektedir. Ana düğüm hariç, algılayıcı ağda bulunan her düğüm MTS310B sensör kartı ile donatılmış bir MICAz telsiz algılayıcı modülünden oluşmaktadır. Ana düğüm ise MIB520 USB Gateway kartını MICAz ile birlikte kullanılmaktadır. Masaüstü bir bilgisayar algılayıcı ağının kaynaştırma merkezi olarak işlev görmektedir.

Her MICAz modülü IEEE 802.15.4 standartına uyumlu, Chipcon CC240 RF alıcı/vericiyle ve Atmega 128L mikrokontrolör ile donatılmıştır. MTS310CB sensör kartında ise Honeywell HMC1002 2-eksenli manyetometre [14] bulunmaktadır. MICAz modülleri programlamak için Tiny OS-2.1.0 ücretsiz, açık-kaynak işletim sistemi kullanılmıştır. Merkezi, ağaç yapılı bir ağ TinyOS Ağ Protokol Çalışma Grubu (*Network Protocol Working Group - Net2WG*) tarafından geliştirilmiş Toplama Ağacı Protokolü (*Collection Tree Protocol - CTP*) kullanılarak kuruldu. Ağ çapında yanıt

gerektiren mesajlar için ise, örneğin yeniden başlatma mesajları için, Net2WG'in dağıtım (*dissemination*) protokolu DRIP kullanıldı.

### 2.1. Hedef Modelleme

Test düzeneğinin laboratuvar ortamına uyumlu olması için, kullanılan hedeflerin araçlara göre çok daha küçük olmaları tercih edilmiştir. Farklı boyutlarda beş hedef kullanılmıştır (Şekil 1):

- 1: 15 cm boyunda ve 3 cm çapında bir demir çubuk;
- 2: 20 cm boyunda ve 3,5 cm çapında bir demir çubuk;
- 3: 30 cm boyunda ve 3 cm çapında demir çubuk;
- 4: iki adet 30 cm boyunda ve 3 cm çapında demir çubuğun birleşimi; ve
- 5: üç demir çubuğun birleşimi – Hedef 4'e ayrıca 15 cm boyunda ve 3 cm çapında demir çubuk bağlanmıştır.

Bu hedefler için her sensörün kapsamı yaklaşık olarak yarı çapı 30 cm olan bir daire şeklinde olduğu tespit edildi [8]. Çalışmamızda sensörlerin seyrek yerleştirildiğini varsayıp, hedefin tek bir sensör kapsamındaki hareketi – yani 30 cm'lik bir dairenin içindeki konumu - ele alınmaktadır. Dolayısıyla, literatürdeki çalışmalara göre test düzeneğimizin boyutları çok daha küçüktür.



Şekil 1. (a) Ağ merkezini teşkil eden bilgisayar, örnek manyetik algılayıcı ile konumlama deneylerinde kullanılan hedefler (1-4); (b) tanıma deneylerinde kullanılan iki hedef (1,5)

Demir çubukların hareketi çevrelerinde ölçülen manyetik alan değerini etkilemektedir. Bu çalışmadaki bütün hedefler manyetik dipol olarak modellenilebilmektedir. Dipol modeli literatürde kullanılan en yaygın hedef modelidir, sadece arabaları değil, insanlar gibi çok farklı hedeflerin modeli olarak kullanılmıştır [15]. Laboratuvarımızda ise daha önce dipol modelin demir çubukların modellenmesi için uygunluğu da doğrulanmıştır [8]. Momenti  $m$  olan bir dipolun oluşturduğu manyetik alan  $\mathbf{B}$ , matematiksel olarak hedeften uzaklığı  $r$ 'ye bağlı olarak şöyle ifade edilebilir [16]:

$$\bar{\mathbf{B}}(\bar{\mathbf{r}}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left( \frac{3(\bar{\mathbf{m}} \cdot \bar{\mathbf{r}})\bar{\mathbf{r}}}{\|\bar{\mathbf{r}}\|^5} - \frac{\bar{\mathbf{m}}}{\|\bar{\mathbf{r}}\|^3} \right) \quad (1)$$

Burda  $\mu_0$  serbest uzayın geçirgenliğidir (*permeability of free space*).

### 2.2. Manyetometre Ölçümleri

Honeywell HMC 1002 manyetometre manyetik alan değişimlerini ölçmek için Wheatstone köprüsü kullanılmaktadır. Wheatstone köprüsündeki direnç değişimleri ise MICAz'nin analog-sayısal çevirici (analog-to-digital converter: ADC) tarafından 10 bit bir ADC sayısına dönüştürülmektedir. ADC sayısına bağlı olarak manyetometrenin elde ettiği manyetik alan ölçümü şu şekilde hesap edilebilir [8]:

$$B_s = \frac{(ADC + 54 * Potentiometer Bias)}{0.001 * G_{total} * ADC_{fullscale} * S} - \frac{V_{offset}}{V_b * S} \quad (2)$$

Burada:

- $G_{total} = G_1 * G_2 = 29 * 78 = 2262$
- $ADC_{fullscale} = 1023$
- $V_b = 3V$
- $S$ : sensör hassasiyetidir

### 3. HEDEF KONUMLAMA, TANIMA VE OMP ALGORİTMASI

Telsiz algılayıcı ağlarla bir hedefin konumu belirlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Örneğin, “simulated annealing” adında, doğrusal olmayan, iteratif bir eniyileme yöntemiyle ölçümlerin hedef modeline göre en küçük kareler (*least squares: LSQ*) hatasını asgari düzeye indiren hedef konumu bulunabilmektedir [8]. Ancak bu yöntem çoklu hedef durumları hesaba katmamaktadır. Bu çalışmada önerilen OMP algoritmasıyla ise hem hedefin konumu tahmin edilebilmektedir hem hedef sınıflandırma ve tanıma yapılabilmektedir.

OMP [17] algoritması ‘*basis pursuit*’ ve ‘*matching pursuit*’ gibi seyrek yakınsama (*sparse approximation*) yöntemlerinden biridir. Bu tür yöntemlerde, önce ölçülen sinyalin parametrik modelini kullanarak, olabilecek her parametre kombinasyonu için bir model veritabanı – veya sözlük – oluşturulur. Sonra, en küçük kareler hatasını en aza indiren veritabanı öge kombinasyonu bulunur. Yönteme *seyrek* denilmesinin sebebi, ölçülen sinyalin ( $s$ ) *çok az sayıda* ögenin ( $\chi$ ) doğrusal kombinasyonu olarak temsil edilmesidir:

$$\hat{s} = \sum_{j=1}^J C_j \cdot \hat{\chi}(\xi_j), \quad (3)$$

Burada  $\eta$ : sözlük öge indisi,  $\xi$ : modelin parametre vektörü,  $J$ : ölçüm sinyali oluşturmak için gerekli öge sayısı. Seyrek bir yaklaşım olduğu için,  $J \ll Q$  (toplam öge sayısı). Katsayılar ( $C$ ) ise şöyle hesaplanmaktadır:

1. Sözlük indisini sıfırlayıp ( $\eta=0$ ), artan kalan sinyal ( $r_0$ ) ölçüm sinyaline eşit olarak başlatılır:  $r_0 = \chi$ . Döngü indisi ( $t$ ) bir olarak başlatılır.
2. Arta kalan sinyalin üzerindeki dikgen izdüşümü en büyük olan sözlük ögesi tespit edilir.
3. En küçük kare hatasını en çok azaltan katsayı vektörü bulunur:

$$\min \left\| \chi - \sum_{j=1}^t C(\eta_j) \hat{\chi}(\eta_j) \right\|_2 \quad (4)$$

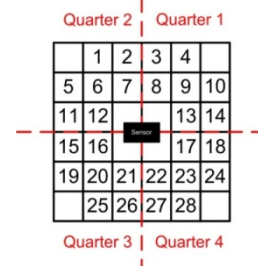
4. Arta kalan sinyal bulunan bileşenleri çıkartarak güncelleştirilir:

$$r_t \Rightarrow \chi - \sum_{j=1}^t C(\eta_j) \hat{\chi}(\eta_j). \quad (5)$$

5. Döngü indisi artırılır ve duraklama şartı sağlayına kadar 2. adıma gidip işlemler tekrarlanır. OMP algoritmasında çeşitli duraklama şartları konulabilir. Örneğin, belirli bir hata oranının altına düşmesi veya istenen hedef sayısının bulunması.

### 3.1. Sözlüğün Oluşturulması

OMP algoritmasının kullandığı sözlüğü oluşturmak için önce algılayıcının kapsama alanı, 10 cm x 10 cm boyutlarında 28 eşit kareye bölünmüştür (Şekil 2). Hedef çok yaklaştığında sensör doyuma ulaşır yanlış ölçümler verdiği için, bu kareler sensörden 10 cm ve 30 cm uzaklık arasındaki bölgede yer almaktadır.



Şekil 2. Karelere ayrılmış sensör kapsama alanı

Her kare ( $i = 1, 2, \dots, 28$ ) için hedefin olduğu ve olmadığı zamanlardaki manyetik alan ölçüm farkıyla ( $\Delta Bx_i$  ve  $\Delta By_i$ ) bir sözlük ögesi oluşturulmaktadır:

$$\phi_i = [\Delta Bx_i \quad \Delta By_i] = [Bx_i - Bx_0 \quad By_i - By_0] \quad (6)$$

Burada:  $Bx_i$  ve  $By_i$  hedef  $i$  karesinde iken sensör tarafından ölçülen manyetik alan değerleridir;  $Bx_0$  ve  $By_0$  ise hedef bulunmadığı durumda ölçülen manyetik alan değerleridir. İndis. Dolayısıyla, sözlük ( $\mathcal{D}$ ) de şöyle tanımlanmaktadır:

$$\mathcal{D} = [\phi_1 \quad \dots \quad \phi_i \quad \dots \quad \phi_{28}]^T \quad (7)$$

### 3.2. Konum Tahmini

Kapsamdaki her konum ( $i$ ) için bir sözlük ögesi hesaplandığı için, ölçüme ( $\Delta Bx, \Delta By$ ) en küçük kare uzaklığı en düşük sözlük ögesini bulmak, yani

$$\hat{i} = \arg \min \left[ (\Delta Bx - \Delta Bx_i)^2 + (\Delta By - \Delta By_i)^2 \right] \quad (8)$$

aynı zamanda hedefin konumu için bir tahmin vermektedir.

### 3.3. Hedef Tanıma

Tanıma işlemi hedef algılama alanına girer girmez, yani dış çemberi oluşturan hücrelerin birinde konumlanınca gerçekleştirilmektedir. Tanıma sözlüğü ise hedef sayısına ( $1, \dots, n, \dots, N$ ) bağlı olarak sadece bu 16 hücre için oluşturulmaktadır:

$$\mathcal{D} = [\phi_{1,1} \quad \dots \quad \phi_{1,16} \quad \dots \quad \phi_{n,1} \quad \dots \quad \phi_{n,16} \quad \dots \quad \phi_{N,1} \quad \dots \quad \phi_{N,16}]^T \quad (9)$$

Sözlüğün boyutu  $16N \times 2$ 'dir ve her sırası, hedefin kendisine ve dış çemberdeki konumuna bağlı olan  $x$  ve  $y$  yönündeki manyetik alan farkından oluşmaktadır. OMP algoritması tanıma sözlüğü üzerinde çalıştırılınca, optimal olarak seçilen sözlük ögesi böylece sadece hedefin kapsama alanına giriş noktasını değil aynı zamanda hedefin bilinen  $N$  çeşit hedef arasından hangisi olduğu bilgisini sağlamaktadır.

## 4. BAŞARIM

Deneyler sırasında HMC1002 manyetometrelerinin doğru ölçüm almaları açısından dikkat edilmesi gereken bir kaç nokta vardır. Öncelikle, HMC1002 manyometreleri ortamın sıcaklığına duyarlı olduğundan [14], deneyler esnasında laboratuvar sıcaklığının aşırı miktarda değişmediği kontrol edilmiştir. Aynı zamanda, düğümlerin pil seviyelerinin çok düşük bir düzeye gelmemiş olması önemlidir, çünkü pil tükenmeye yakınken elde edilen ölçüm değerleri sağlıklı olmamaktadır. Son olarak, dünyanın manyetik alan değişiklikleri de ölçümleri etkilemektedir. Örneğin, güneş batımında ortamdaki (ambient) manyetik alan değişir; yine, laboratuvar binasının bitişiğinde bulunan otoparkta arabalar girip çıkarken ölçümlerde farklılık gözlemlenebilmektedir. Tüm deneylerin gündüz saatlerinde, otoparkta trafiğin yok veya yok denecek kadar az olduğu zamanlarda yapılmasına dikkat edilmiştir.

### 4.1. Konumlama Başarımı

OMP algoritmasının konumlama başarımını değerlendirmek için iki durum test edilmiştir: 1) kapsama alanının 28 hücreye bölünmesi; 2) kapsama alanının uzamda daha seyrek örneklenmesi - örneğin 28 hücreye değil de sadece dört çeyrek daireye bölünmesi. Her hedefin konumlanma başarımı farklı mevkiler ve yüksek sayıda denemeler için ölçülmüştür. Hedef 3 için alınan başarımlar oranları Tablo 1 de gösterilmektedir.

Tablo 1. OMP Algoritmasının Konumlanma Başarım Oranı

Hücre Sayısı	Hedef	Deneme Sayısı	Başarım Oranı
28	3	48	65%: doğru hücre; 100%: $\pm 5$ cm
4	3	48	92%: doğru çeyrek

### 4.2. Tanıma Başarımı

Tanıma başarımını etkileyen önemli unsurlardan biri uzamsal çözünürlüktür. Hücre sayısı dörde düştüğünde konumlama bilgisindeki hata payı dört hedefin birbirinden ayırt edilememesine neden olmuştur. Ancak, hücre sayısı 28'e çıkarıldığında, rahatlıkla birbirinden farklı olan hedefler ayırt edildi. Örneğin, kapsama alanı 16 hücreye bölündüğünde, hedef 2 ve 5 birbirinden 75% oranında doğru olarak birbirinden ayırt edilebildi. Hedefin konumunu önceden bilip bilmediğimiz de tanıma başarımını etkilemektedir. Konum önceden bilindiği varsayılırsa, bütün hedefler için tanıma başarımı 100%'e yükselmektedir.

## 5. SONUÇLAR

OMP algoritması farklı özellikleri olan manyetik hedeflerin konumlanmaları ve tanınmalarında kullanıldı. Uzamsal çözünürlük sözlük öğelerin gerçek verilerle olan uyumunu etkilediği için tanıma algoritmasının iyi sonuçlar vermesi için uzamsal çözünürlüğün yeterince yüksek tutulması gerekmektedir. Daha önce önerilen 'simulated annealing' algoritmasına göre OMP algoritması sadece konumlama bilgisi değil, birden fazla hedefin olduğu durumlarda da hedef tanıma için kullanılabilir. Sıcaklık ve trafik gibi ölçümleri etkileyen çevresel etkenler ölçüm yaparken dikkate alınmalıdır. Gelecek çalışmalarımızda OMP algoritmasının

seyrek bir algılayıcı ağ durumunda hedef takibi ve tanıma için geliştirilecektir, ondan sonra düzeneğin boyutu büyütülecektir. Manyetik WSN'i otoparkta yerleştirilerek, araba takibi için kullanılacaktır. Dışarıdaki koşullar laboratuvar ortamı gibi kontrollü olmayacağından, sıcaklığın ve benzeri etkileşimlerin algoritmaya katılacaktır.

## 6. KAYNAKÇA

- [1] Dhar, A.; Kulkarni, P.; "Using magnetic sensors to estimate street traffic patterns" ([www.cse.iitb.ac.in](http://www.cse.iitb.ac.in))
- [2] Cheung, S.Y.; Coleri, S.; Dundar, B.; Ganesh, S.; Tan, C.; Varaiya, P.; "Traffic Measurement and Vehicle Classification with a Single Magnetic Sensor," *UC Berkeley, PATH paper*, 2004.
- [3] Lee, S.; Yoon, D.; Ghosh, A.; "Intelligent parking lot application using wireless sensor networks," *Int. Symp. on Collaborative Technologies and Systems (CTS)*, 19-23 May 2008, sf. 48-57.
- [4] Boda, V.K.; Nasipuri, A.; Howitt, I.; "Design consideration for a wireless sensor network for locating parking spaces," in *Proc. SoutheastCon*, 2007.
- [5] Cheung, S.Y.; Ergen, S.C.; Varaiya, P.; "Traffic surveillance with wireless magnetic sensors," *U.C. Berkeley, California PATH Research Report*, 2007.
- [6] Kaewkamnerd, S.; Chinrungrueng, J.; Pongthomseri, R.; Dummin, S.; "Vehicle classification based on magnetic sensor signal," *Int. Conf. on Inf. and Automation (ICIA)*, 20-23 June 2010, sf.935-939.
- [7] Dimitropoulos, K.; et. al.; "Detection, tracking and classification of vehicles and aircraft based on magnetic sensing technology," *Trans. Eng. Computing and Tech.*, Vol. 14, 2006, sf. 161-166.
- [8] Antepli, M.A.; Gurbuz, S.Z.; Uysal-Biyikoglu, E.; "Ferromagnetic target detection and localization with a wireless sensor network," *MILCOM* 2010.
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/Simulated\\_annealing](http://en.wikipedia.org/wiki/Simulated_annealing)
- [10] Tropp, J.A.; Gilbert, A.C.; "Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit," *Trans. Info. Theory*, Vol.53, No.12, Aralık 2007, sf. 4655-4666.
- [11] Cai, T.T.; Wang, L.; "Orthogonal matching pursuit for sparse signal recovery with noise," *Trans. Information Theory*, Vol.57, No.7, Temmuz 2011, sf. 4680-4688.
- [12] Gürbüz, S.Z.; Melvin, W.L.; Williams, D.B.; "Radar-based human detection via orthogonal matching pursuit," *ICASSP*, 2010.
- [13] Gurbuz, A.C.; Scott, W.R.; McClellan, J.H.; "Location estimation using a broadband electromagnetic induction array", *Proc. SPIE*, Vol. 7303, 2009.
- [14] Honeywell Magnetic Sensors Product Data Sheet, "1- and 2-axis magnetic sensors," *Honeywell SSEC*, 2004.
- [15] A. Arora, et al.; "A line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification, tracking," *Computer Networks*, Vol 46, No. 5, 2004, sf. 605-634.
- [16] Griffiths, D.J.; *Introduction to Electrodynamics*. Prentice Hall, 1999.
- [17] Pati, Y.C.; Rezaifar, Y.C.; Krishnaprasad, P.S.; "Orthogonal matching pursuit: recursive function approximation with applications to wavelet decomposition," in *Proc. 27<sup>th</sup> Asilomar Conf.*, 1993.