Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi

Cilt-15
Sayı-1
2022

Nesnelerin İnterneti Yaklaşımıyla Konvoy Araçların Yönetimi

Convoy Vehicles Management with the Internet of Things

Can ÖZ
Ege Üniversitesi,
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye
can.oz@kentkart.com.tr
ORCID: 0000-0003-1412-5501

N. Yasemin TOPALOĞLU
Ege Üniversitesi,
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye
yasemin.topaloglu@ege.edu.tr
ORCID: 0000-0003-2816-1984

Öz

Toplu taşıma sistemleri farklı üreticilerin sağladığı donanım ve yazılım birimleriyle etkileşim içerisinde çalışmaya başlamıştır. Sistemin çalışır hale gelmesiyle otomatik olarak ağ ayarlarının yapılması ve çalışan servislerin sistem içerisinde yayınlanması gereksinimi karmaşık cihaz yönetimi problemini ortaya çıkartır. Farklı tür donanım ve yazılım birimlerini bütünleşik yönetebilmek için toplu taşıma filoları için ITxPT birliği tarafından geliştirilen mimari standartlaşmaya başlamıştır. Mimari içerisinde yazılım servisleri ve bu servislerin birbirleriyle etkileşimi belirli protokoller altında tanımlanmıştır. Çalışma içerisinde değerlendirilen mimari genişletilerek konvoy araçların da nesnelerin interneti yaklaşımına uygun olarak yapılandırılıp yönetilmesi planlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: *Nesnelerin İnterneti, Cihaz Yönetimi, Akıllı Ulaşım Sistemleri, Konvoy Araçlar, MQTT, DNS-SD*

Abstract

Public transport systems are environments with different manufacturers which have different hardware units and software applications. The presence of different solution providers in these systems makes it difficult for applications to work together and manage in interaction. This complexity can be managed by using standard and well-defined protocols. The international Information Technology for Public Transport (ITxPT) standards have recently been defined to ensure that companies, providing intelligent transportation technologies to the fleets, can properly manage the complex infrastructure in question and eliminate the problems of compliance. Our study extends the current architecture to add a new service called node service. Node service is responsible for managing configuration and communication in convoy vehicles.

Gönderme, düzeltme ve kabul tarihi: 29.12.2021 - 16.03.2022 - 30.03.2022
Makale türü: Araştırma

Keywords: *Internet of Things, Device Management, Intelligent Transport Systems, Convoy Vehicles, MQTT, DNS-SD*

1. Giriş

Nesnelerin interneti (Nİ) ayrı cinsten donanım, yazılım ve iletişim ara yüzlerine sahip akıllı nesnelerin birbirlerine bağlanmasını sağlar. Son zamanlarda Nİ konularında farklı alanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Önde gelen araştırma şirketi Gartner, nesnelerin interneti cihazlarının 2021 de 22 milyar birime ulaşacağını öngörmüştür [1]. Akıllı ulaşım sistemleri kapsamında da toplu taşıma filoları bu kümeye örnek olarak verilebilir. Bu cihazların yönetimi, bakımı ve farklı tür donanımlarla bütünleşik çalışabilmesi kurulumdan çalışma anına kadar birçok gereksinimi açığa çıkartır. Bu gereksinimler, filo sistemleri için farklı tür donanım ve yazılım servislerini yönetebilmek için bir ağ geçidi tanımının yapılmasına ihtiyaç duyar. Ancak farklı üreticilerin ürettiği bu donanımların ve yazılım servislerinin farklı iletişim teknolojilerine sahip olması ve veri türlerinin farklılaşması beraber çalışma problemini ortaya çıkartır. Bu ağ geçidi, farklı donanım ve yazılım servislerini anlayarak beraber çalışabilmeyi sağlamalıdır. Böylece kurulum aşamasında sistemde bulunmayan donanım veya yazılım servisleri de çalışma anında devreye alınabilecek ve dinamik olarak çevreye uyumlandırma yetenekleri sağlanabilecektir.

Günümüzde cihaz yönetimine ve servis bulunmasına ait birçok protokol çalışılmıştır. En bilineni ağ üzerinden donanımlara ulaşmayı sağlamak için tasarlanan evrensel tak ve çalıştır (universal plug and play, upnp) [2] protokolüdür. Ancak SOAP (Simple Object Access Protocol) paketlerine gereksinim duyması birçok gömülü sistem cihazlarına uygun değildir. Kısıtlı özelliklere sahip bu cihazlarda ağ geçidi özellikleri tanımlanmalı ve otomatik yapılandırma mekanizması geliştirilmelidir.

Tanımlanan problemler toplu taşıma sistemleri içinde bir standart oluşturmak isteyen Toplu Ulaşım için Bilgi Teknolojisi Birliği (Information Technology for Public Transport, ITxPT)[3]

tarafından ele alınmıştır. “Sıfır ayarlama (Zeroconf)” kapsamında çok noktaya yayın DNS (Multicast DNS, mDNS) ve DNS hizmeti keşfi (DNS Service Discovery, DNS-SD) yaklaşımları incelenmiştir. Bu çalışmada da uygulamaların ve servislerin araştırılması için yeni bir protokol tanımlamak yerine Nİ kapsamında kullanılan mimariye uygun şekilde benzer bir yaklaşımı ulaşım sistemleri için uygulayıp, yeni bir servisin cihazlar içerisinde kullanılması örneklenecektir.

Çalışma içerisinde ulaşım sistemleri için akıllı ağ geçidi tanımı yapılacaktır. Bu ağ geçidi çeşitli iletişim protokollerine destek verecek, cihaz yönetimi ve dinamik servis tanıması yetenekleri olacaktır. Ağ geçidi ayarları için ilk aşama haberleşme adresinin (IP) belirlenme yöntemidir. İkinci aşama ağ geçidi içerisinde bulunan yazılım servislerinin tespit edilmesidir. Son aşama bu servisler ile iletişim şeklinin tanımlanmasıdır. Böylece otomatik yapılandırma ve servis bulunması ile ilgili yetenekler ağ geçidi içerisinde tanımlanacaktır.

Çalışmanın devamında nesnelerin internetine ve ulaşım sistemlerinde uygulanan kullanımlarına ait literatür araştırmaları verilmiştir. Üçüncü bölümde toplu ulaşım için bilgi teknolojisi mimarisi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde mimariye eklenmesi planlanan düğüm servisi için ihtiyaç duyulan ağ gereksinimleri açıklanmıştır. Beşinci bölümde düğüm servisi detayları tanımlanmış, örnek olay üzerinden metotları gösterilmiştir. Altıncı bölüm çalışmanın sonuç kısmıdır.

2. Literatürdeki Çalışmalar

Nİ, sıradan cihazları akıllı hale getirerek, bulundukları ortamı aktif olarak izlemek ve yönetmek amacıyla cihazların birbirleriyle iletişim kurmasını sağlar[4]. İnternetin gelişimi, iletişim teknolojilerinin hızlanması ve sensör maliyetlerinin azalmasıyla Nİ birçok alanda kullanılabilir hale gelmiştir. Akıllı evler, akıllı arabalar, akıllı tarım gibi birçok alanda kullanıldığı gibi son dönemlerde ulaşım sistemlerini akıllı hale getirmek için de tercih edilmeye başlamıştır. Akıllı ulaşım sistemleri güvenli trafik, güvenli seyahat ve filo yönetimi konularında verimlilik sağlamak hedefiyle geliştirilen sistemlerdir.

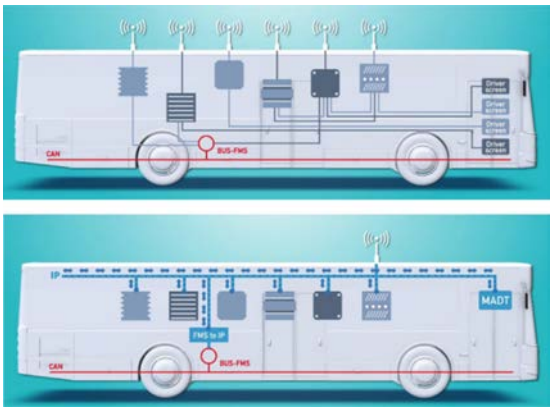
Nİ kavramından yola çıkarak içerisinde bulut bilişime, bağlam duyarlılığına ve güvenlik konularına ait güncel teknolojilerin gömülü sistemlerde uygulandığı çalışmalar oldukça fazladır. Aravind ve ark. çalışmalarında araç yönetim cihazında (OBU) bulunan verilerin sunucuya gönderilmesini iki yaklaşım arasında kıyaslamıştır[5]. Bu yaklaşımlar aralığa dayalı ve olay tabanlı olarak tanımlanmış ve GPS verilerine özelleşen yazarlar, en verimli veri gönderim yaklaşımını araştırmıştır. Abe ve ark. “Uluslararası Nesnelerin İnterneti Kongresinde” (International Congress on Internet of Things) yayınlanan çalışmalarında, bağlı araçlar için durum değişikliklerini gerçek zamanlı takip ederek kural tabanlı durum çıkarsama servisi önerisinde bulunmuşlardır [7]. Kural servisi durum analizi için kullanılırken, kuralları dört aşamada modellemişlerdir.

Veri yönetimi yaklaşımına göre Nİ sistemlerinde çeşitli katmanlar görevlendirilmiştir [11,12]. Birçok veri, bulut işleme sunucularında anlamlandırılır. Bulut işleme ve değerlendirme çoğunlukla çevrim dışı(offline) veri çözümlemeleri için önemlidir. Gerçek zamanlı veri işleme ihtiyacı olan sistemlerde hesaplama işlemleri cihaza kadar inmektedir. Bu yaklaşımlar için sınır bilişim (Edge Computing) ve sis bilişim (Fog Computing) kavramları kullanılmaktadır.

Mevcut olan çalışmalar değerlendirildiğinde farklı üreticilerin ve servis sağlayıcıların bulunduğu ulaşım sistemlerini akıllı hale getirebilmek için standartlaşma önemlidir. Araç ağı içerisinde oluşan karmaşık sistemi yönetebilmek için belirlenen standartlara uyan, dinamik ve çalışma anında yapılandırmaya uygun yeni bir servis tanımı gereklidir. Bu doğrultuda üçüncü bölümde ulaşım sistemlerinde bilgi teknolojisi standardı oluşturmak için hazırlanan ITxPT mimarisi özellikleri anlatılacaktır. Çalışmanın devamında ise bu mimari geliştirilerek konvoy araçların yönetimine ait ortaya çıkan problemleri çözebilmek için tasarlanan yazılım servisi yetenekleri açıklanacaktır.

3. Toplu Ulaşım için Bilgi Teknolojisi

Akıllı ulaşım sistemlerinde standart protokollerin kullanılması gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Bu sistemler farklı üreticilerin sağladığı donanım ve yazılım birimleriyle etkileşim içerisinde çalışmaya başlamıştır. Sistemin çalışır hale gelmesiyle otomatik olarak ağ ayarlarının yapılması ve çalışan servislerin sistem içerisinde yayınlanması gereksinimi karmaşık cihaz yönetimi problemini ortaya çıkartır. Bu karmaşıklık nesnelerin interneti yaklaşımında kullanılan tekniklerinden faydalanarak dinamik olarak yönetilebilirse, donanım ve servis aramasının elle yapılmasının önüne geçilecektir. Bu kapsamda belirtilen uyum sorunlarını gidermek için ITxPT uluslararası standartları tanımlanmıştır. Uluslararası Toplu Taşıma Birliği (UITP) ile dünya çapında yüzden fazla otobüs üreticisi ve toplu taşıma işletmelerinin birlikte oluşturduğu girişimin ortaya koyduğu standartlar, toplu ulaşım sistemlerinin birlikte çalıştırılabilmesi, kolay yapılandırılması, yönetilmesi ve ölçeklendirilmesi için endüstriyel düzeyde bilgi teknolojisinin geliştirilmesine ait kural ve yöntemleri tanımlamaktadır.



Şekil 1. Üstteki; Genel Mimariye Göre Bilgi Sistemi. Alttaki; ITxPT'ye göre Yeniden Organize Edilen Bilgi Sistemi [3]

Standardın kolay kurulum ve birlikte çalışabilirlik özellikleri çok noktaya yayın DNS (mDNS) ve DNS hizmeti keşfi (DNS-SD) yaklaşımlarının uygulanması ile sağlanmaktadır. Bu yöntemler ile aşağıda verilen servislerin ilgili verilere standart şekilde ulaşabilmesi hedeflenmiştir.

- Modül Envanteri (Module Inventory)

- Zaman
- Pozisyon (GPS)
- FMStoIP (Cihaz verisinden IP ye dönüştürme)
- MQTT Broker (MQTT Dağıtıcı)
- Araç Takip Sistemi (Advanced Vehicle Monitoring System – AVMS)
- Çoklu Uygulama Sürücü Terminali (Multi Application Driver Terminal – MADT)

Ortaya koyulan standartlar "Geleceğin Avrupa Otobüs Sistemleri (EBSF)" projelerinin üzerine kurularak araç içerisinde farklı üreticilerin ve servis sağlayıcıların kolaylıkla kendi hizmetlerini çalıştırabilmesi için tasarlanmıştır [13]. Corozza ve ark. ITxPT standartları doğrultusunda belirtilen DNS hizmeti keşfi yaklaşımından faydalanarak ulaşım sisteminde araç bakımının iyileştirilmesi üzerine çalışmışlardır [14]. Puerta ve ark. ekonomik sürüş için görevlendirilen bir servisin mimariye uygun biçimde araç içi ve sunucu arasında veri iletişimi için kullanılabileceğini açıklamıştır [6].

Biz de uygulamaların ve servislerin araştırılması için yeni bir protokol tanımlamak yerine tanımlanan mimariye uygun olarak konvoy araçlara ait özellikleri kapsayan bir servis eklentisi üzerinde çalışmaktayız. Mevcut mimaride bulunan servislere eklenti olarak konvoy araçların yönetimi için yeni bir servis (düğüm servisi – node service) tanımında bulunmaktayız. Dördüncü bölümde bu servis tanımı için gerekli olan ağ gereksinimleri tanımlanırken beşinci bölümde düğüm servisi elemanları, komutları ve yetenekleri açıklanacaktır.

4. Ağ Gereksinimleri

Her aracın kendine ait bir birincil IP (primary network) ağı olmalıdır. Bu ağ, yazılım servislerinin birbirleriyle haberleşebilmesini sağlar. Ağ üzerinde her servisin bir tane IP adresi olmalıdır. IP adres uzayının ulaşım cihazları için C sınıfında olması yeterlidir. Böylece 256 adresin kullanılabilmesi sağlanır. Çizelge 1'de belirtilen IP aralığı araç ağı için kullanıma hazırlanmıştır.

Çizelge-1: Ağ Detayları

Aralık	Adres Sayısı	Sınıfı	Alt Ağ
192.168.0.0	256	C	255.255.255.0

Birden fazla donanımın bulunduğu ortamlarda IP atama yaklaşımları da önemli olmaktadır. Bilinen üç farklı IP atama yaklaşımı vardır. Bunlar;

- Sabit Atama: Cihaza sabit kodlu olarak IP atanır. Aynı değerli IP'lerin kullanılması ve bakımın kolay yapılamaması durumları yüzünden kullanışlı değildir.
- Dinamik Atama: IP tanımlaması için ortamda bulunan IP dağıtma sunucusundan (DHCP) yazılım parçasına özel bir IP verilmesi talep edilir. Sunucunun görevi farklı yazılım parçalarına sistemde kullanılmayan IP dağıtmasıdır.
- Otomatik Atama: IPv4 için 169.254.0.0/16 aralığı dinamik kullanım için ayrılmıştır.

Çalışmamız içerisinde araç ağında bulunan değişken yazılım hizmetlerine ulaşabilmek için dinamik IP atama yaklaşımı belirlenmiştir. Böylece sisteme dâhil olan her donanım, yönetici cihazın dağıttığı IP ile birbirlerini görebilecek, kurulum sırasında elle yapılandırma ihtiyacı ortadan kalkacaktır.

Araç ağı içerisinde bulunan diğer bir sorun, IP adreslerinin yönetilmesidir. Dinamik kurulumu ve otomatik servis tanımlamasını sağlamak için yerel ağın içinde etki alanı adı sunucusu (DNS) olmadan, DNS'in özelliklerinden yararlanmamız gerekir. Bu doğrultuda bir sonraki bölümde isim çözümlenmesi gereksinimi açıklanmış, araç ağı içerisinde bu yetenekleri sağlamak için ihtiyaç duyulan protokoller tanımlanmıştır.

4.1 IP – İsim Çözümlemesi

Zaman içerisinde IP adresleri değişebilir. Ayrıca rakamların bir servisi tanımlaması çoğu zaman açıklayıcı ve kolay yönetilebilir olmaktan çıkar. Bunu çözmek için günümüzde alan isimlerinden faydalanılır. Alan isimleri IP adreslerine verilen eşsiz isimlerdir. Sunucu tabanlı (unicast) veya dağıtık (multicast) olarak isim elde etme yöntemleri vardır. Araç içerisinde yerel bir ağ olacağı için dağıtık yöntemin kullanılması daha uygundur. Bu doğrultuda internet protokollerini geliştiren ve standartlaştıran grup olan IETF(Internet Engineering Task Force) [8] çok noktaya yayın DNS (Multicast Domain Name Systems (mDNS))[9] ve DNS hizmeti keşfi(DNS-Based Service Discovery (DNS-SD))[10] yaklaşımlarını geliştirmiştir.

4.1.1 Çok Noktaya Yayın DNS

Bir ağ içerisinde bulunan donanımların bulunup servislerinin paylaşılabilmesi için kullanılan bir standarttır. Donanımlar ağ adresini çok noktaya yayın grubuna (özel 224.0.0.251 ip adresi) 5353 portu (UDP) üzerinden ip adreslerini sorar. İlgili cihazlarda kendi alan adı kayıtlarıyla cevap verirler. Sıklıkla DNS hizmeti keşfi ile beraber kullanılır.

4.1.2 DNS Hizmeti Keşfi

RFC 6763[10] içerisinde tanımlanmış, IP ağı üzerindeki servislerin bulunması ve yayınlanması için geliştirilen başka bir standarttır. Standart DNS programlama ara yüzlerini, sunucularını ve paket formatlarını (PTR, SRV ve TXT kayıtları) kullanır.

- SRV: cihazın sunduğu servis ismi kaydı
- TXT: kullanıcı tanımlı açıklama kaydı
- PTR: servisin atama kaydı

DNS hizmeti keşfine ait fonksiyonların ağ içerisinde sahip olması gereken minimum yetenekler şu şekildedir:

- Yayınlama servisi: Servisin isminin, URL'inin, port bilgisinin ve desteklediği protokollerin tanımlanmasına olanak sağlar.
- Güncelleme servisi: Tanımlanan servisin güncellenmesine olanak sağlar. Bunun için öncelikle eski girdilerin temizlenmesi sonrasında yeni özelliklerin yayınlanması gerekir.
- Sorgulama servisi: Var olan servislerin listelenmesine olanak sağlar.

4.1.3 Servis Tanımı

Bonjour ve Avahi, sıfır yapılandırma (Zeroconf) kapsamında kullanılan en bilinen uygulamalardır. Servislerin yayınlanması veya servislere kayıtlanma durumları için fonksiyonları vardır. Servisler birer DNS Servisi veya TXT kaydı olarak tanımlanır. SRV ile servisin yeri öğrenilir. TXT ise servislere ait açıklamalar bulunur. Çizelge 2'de örnek bir servis kaydı şu şekildedir:

Çizelge-2: Güvenli Kabuk (SSH) Servisi Kaydı Tanımı

<instance>._<service name>._<type>._<protocol>.<domain>	*=> _SSHService._ssh._tcp*

Güvenli kabuk servisi uygulama protokolünü (multicast, htpp, sntp, …) belirtirken TCP (veya UDP olabilir) ise taşıyıcı protokolü tanımlamaktadır.

Mimaride önerilen servis bulma yaklaşımı, farklı üreticilerin sisteme kolaylıkla kayıtlanıp, kendi görevlerini yaparken oluşturdukları verinin ağ içerisinde farklı ürünlerde kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Üreticinin protokole uygun olarak hazırladığı servis de testlerle kontrol edilmektedir. Bu yaklaşımla cihaz yönetimi için belirttiğimiz servis özelliklerinin temel mimariyi genişleterek cihaz içerisinde bulunan uygulamaların yönetim servisi olarak çalıştırılması düşünülmüştür.

5. Konvoy Araçların Yönetimine ait Örnek Olay

Bir sistem içerisindeki donanım ve yazılım bileşenlerinin yönetimi bir yapılandırma gereksinimini ortaya çıkartır. Yapılandırma, kullanıcıların uygulama ayarlarını el ile yapmasıyla sağlanabilir. Ancak bir ağ içerisinde birden fazla donanımın ve yazılımın ayarlarının yeniden yapılması kolay ve esnek değildir. Ağ içerisinde otomatik olarak yapılandırmanın yönetilmesi ve sisteme sonradan katılan donanım ve servislerin dinamik olarak sistemde bulunabilmesi, uygun bir çözüm olacaktır.

Biz de çalışma alanı olarak birden fazla toplu taşıma aracının dinamik olarak birleşebildiği konvoy sistemleri ele aldık. Bu araçlar hat ve servis işlerini yöneten yerleşik cihazlara (On Board Unit, OBU) sahiptir. Tek başına çalıştıkları zaman, belirlenen plaka ve araç numarasına ait cihaz, sunucu sisteminden izlenebilmektedir. Ancak bazı koşullarda bir veya daha fazla araç körük biçimiyle birbirleriyle birleşebilmektedir. Mevcut durumda birleşen cihazlar aynı enerji hattında ve aynı IP ağı içerisinde birbirlerinin görevlerini karıştırmaktadır. Otomatik servis bulunması ile birden fazla cihazın aynı ağ içerisinde birleştiği anda yönetici cihazın keşfedilmesi ve diğer cihazın yardımcı cihaz olarak sessize alınması sağlanacaktır.

Kapsam listesi şu şekilde sıralanmıştır:

1. Fiziksel yetenekleri ve görevleri bakımından MASTER ve SLAVE tanımlı cihazlar sistemde bulunabilir.
2. Sürücü önünde bulunan, sunucu ile konuşabilen ve sefer yönetimi yapılmasını sağlayan OBU'lar MASTER olabilir. MASTER cihazın çalışma kurallarına göre yolcu tarafında bulunan ve ücret toplaması görevinde olan VALİDATOR'ler doğal SLAVE durumundadır. Benzer şekilde ağ içerisinde MASTER olmayan OBU'lar da SLAVE olarak tanımlanmaktadır.
3. Sefer durumunda SLAVE cihazlar MASTER cihazın yapılandırmasına göre çalışmaktadır.
    a) Uyku durumu
    b) GPS bilgileri
    c) Sefer bilgileri
    d) Hat ve durak bilgileri
    e) Veri kayıtları
    f) Ağ geçidi özellikleri

Kural listesi şu şekilde sıralanmıştır:

1. Bir ağ içerisinde sadece bir tane MASTER cihaz bulunabilir. Bir veya daha fazla SLAVE cihaz aynı ağ içerisinde bulunabilir.
2. Uyku durumunda olan OBU, MASTER seçimi sırasında en düşük öncelikte kabul edilir.
3. Sefer durumunda uykuda olmayan birden fazla OBU ağ içerisindeyse, OBU'lar arasından rasgele seçim yapılacaktır.

Komut listesi şu şekilde sıralanmıştır:

1. Kayıt Düğümü (Register Node)
    a) Cihaz tipi
    b) Kalp atışı (zaman damgası ile)
    c) Cihaz sırası
2. Master durumu isteme
3. Master olduğunu yayınlama
4. Master durumunu sorgulama

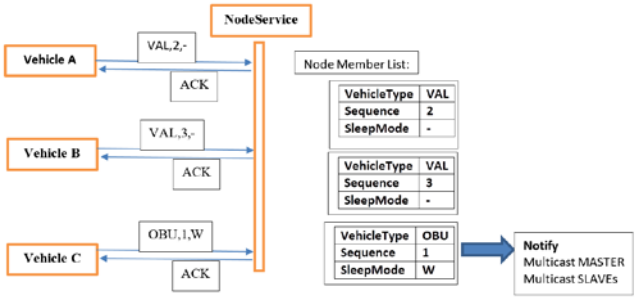
Çizelge-3: Düğüm Servisi Alan Tanımları

Alan	Tanım	Değer
Birim	[alan adını]'i gösteren özel bir tanımlayıcı	[alan adı]
Servis adı	Servisin uygulama tanımı	düğüm
Tip	Uygulama protokolünün adı (http, sntp, multicast,…)	multicast
Protokol	Servisi taşıyan protokolün adı (tcp veya udp)	udp
Alan	Kaydın geçerli olduğu alan adı	yerel
TTL	DNS geçerlilik süresi	3600
Sınıf	DNS sınıfı (internet için IN)	IN
"SRV"		"SRV"
Öncelik	Öncelik (düşük olan tercih edilir)	0 (ayarlanabilir)
Ağırlık	Aynı öncelik için ağırlık (ağır olan tercih edilir)	0 (ayarlanabilir)
Port	Servisin TCP veya UDP portu	9876
Hedef	Servisi sağlayan cihaz	[alan adı]

Sonuç olarak OBU'nun Master/Slave belirleme servisi şu şekilde cevaplanır:

[hostname]._node._ multicast._udp.local 3600 IN SRV 0 0 9876 [hostname]

Şekil 2' de servisin içerisinde bulunan elemanları etkileşimi ve komutlara göre durum değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Düğüm Servisi ile OBU/VAL Etkileşimi

6. Sonuç

Nesnelerin interneti ayrı cinsten donanım, yazılım ve iletişim ara yüzlerine sahip akıllı nesnelerin birbirlerine bağlanmasını sağlar. Her alanda olduğu gibi toplu taşıma sistemlerinde Nİ yaklaşımlarından faydalanmak kaçınılmazdır. Bu doğrultuda ITxPT birliği toplu taşıma sistemleri için özelleştirdiği standart adımlarla Nİ uyumlu bir mimari tasarımı önermektedir.

Çalışmamızda ulaşım mimarisine ait servisleri, konvoy araçları problemi için genişletilmiş, düğüm servisi tanımı var olan mimariye eklenmiştir. Konvoy araçların birbirlerine belirli kurallar doğrultusunda bağlanabilmesi için önceden yapılandırılması gerekir. Ancak belirsiz sayıda bağlantı düşünüldüğünde önceden yapılandırma gerçek zamanlı ve yönetilebilir durumda değildir. Nesnelerin interneti yaklaşımları ile gerçek zamanlı iletişim ve değişimlerin yayınlanması sağlanırken, Avahi temelli otomatik servis bulunması sisteme sonradan eklenen araçların kolaylıkla çalıştırılmasına yardımcı olur.

Hazırlanan düğüm servisi, şehir içi ulaşım sistemlerinde bulunan Kentkart OBU ve validatorleri içerisinde çalıştırılmıştır. Bu cihazlar ARM işlemcili ve kablolu/kablosuz ağ yeteneklerine sahip, nesnelerin interneti ağ geçidine uygun Linux tabanlı gömülü sistem bilgisayarlarıdır. Birden fazla OBU ve validator bulunan bir sistemde düğüm servisi ile cihaz tanımları otomatik olarak tespit edilebilmiş ve ağ içerisindeki diğer cihazlara anlık değişimler ve mevcut cihaz tanımları aktarılabilmiştir. Konvoy araçlarının yerel ağ üzerinden UDP çok noktaya yayın servisi ile yönetilmesi Linux çalışan cihazlarda kolaylıkla geliştirilmesini ve yönetilmesini sağlarken, ulaşım mimarisi standartlarına uygun olarak gönderilen olay tabanlı mesajlar ise sistemin çalışma anı değişimlerine hızlı cevap vermesini sağlar. Düğüm servisi hem otobüs hem de tren formunda çalışan sistemlerde sefer durumlarına göre kullanıcı müdahalesi olmadan istenen hizmetleri vermesini sağlayabilmektedir.

Çalışmanın geleceğinde, araç ağı içerisinde oluşan yönetim durumlarının sunucu üzerinden canlı olarak izlenebilmesi ve uzaktan değişimlerin yapılabilmesi planlanmıştır. Bu doğrultuda servis haberleşmesi için kullanılan protokolün UDP den nesnelerin interneti sistemlerinde sıklıkla tercih edilen MQTT ye dönüştürülmesi ve gömülü sistem kısıtlarına duyarlı mesajlaşma yapısının oluşturulması düşünülmüştür. Bu sayede hem araç içi hem de araçlar ile sunucu arası geniş kapsamlı izlenebilirlik sağlanırken, mesajlaşma katmanıyla uzaktan yönetim yeteneği de geliştirilecektir.

Kaynakça

[1] Gartner Website, http://www.gartner.com, Son erişim tarihi: 1 Kasım 2021

[2] International Organization for Standardization, "ISO/IEC standard on UPnP device architecture makes networking simple and easy". https://www.iso.org/news/2008/12/Ref1185.html, Son erişim tarihi: 30 Ekim 2021

[3] ITxPT, "Open IT architecture for Public Transport", https://itxpt.org/, Son erişim tarihi: 1 Haziran 2021

[4] V. Reddy, P. Gayathri, "Integration of Internet of Things with Wireless Sensor Network", International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 9, no. 1, pp. 439-444, 2019.

[5] Aravind, M., Wiklander, G., Palmheden, J., & Dobrin, R., "An event-based messaging architecture for vehicular Internet of Things (IoT) platforms", International Conference on ICT Innovations (pp. 37-46), 2017. Springer, Cham.

[6] Puerta, J., Brazález, A., Suescun, A., Iparraguirre, O., & Atutxa, U., "Standardizing IT Systems on Public Transport: An Eco-Driving Assistance System Case Study", International Workshop on Communication Technologies for Vehicles (pp. 149-158), 2018. Springer, Cham.

[7] Abe, Mari, Gaku Yamamoto, and Tomohiro Miyahira. "Rule-based Situation Inference for Connected Vehicles.", 2017 IEEE International Congress on Internet of Things (ICIOT). IEEE, 2017.

[8] IETF Working Groups, http://datatracker.ietf.org/wg/.

[9] Cheshire S. ve Krochmal M., "RFC 6762: Multicast DNS." http://www.ietf.org/rfc/rfc6762.txt, 2013.

[10] Cheshire S. ve Krochmal M., "RFC 6763: DNS-Based Service Discovery." http://www.ietf.org/rfc/rfc6763.txt, 2013

[11] Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L., "Edge computing: Vision and challenges", IEEE Internet of things journal, 3(5), 637-646.,2016

[12] Silva, J. D. C., Rodrigues, J. J., Al-Muhtadi, J., Rabêlo, R. A., & Furtado, V., "Management platforms and protocols for internet of things: A survey. Sensors", 19(3), 676, 2019

[13] Tozzi, M.; Bousse, Y.; Karlsson, M.A.; Guida, M., "A European Initiative for More Efficient and Attractive Bus Systems: The EBSF_2 Project", Transportation Research Procedia, 14, 2640-2648., 2016

[14] Corazza, M. V.; Magnalardo, S.; Musso, A.; Petracci, E.; Tozzi, M.; Vasari, D.; de Verdalle, E. "Testing an innovative predictive management system for bus fleets: outcomes from the Ravenna case study", IET Intelligent Transport Systems., 12(4), 286-293., 2018