



NESNELERİN İNTERNETİ KAPSAMINDA KULLANILAN ARA KATMAN YAZILIMLARINA YÖNELİK AĞ BENZETİMİ

Alper KILIÇ

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya,
TÜRKİYE
akilic@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 21.03.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 11.11.2022)

ÖZ: Nesnelerin İnterneti (IoT) kapsamında çok sayıda veri üretici sistem belirli bir ağ üzerinde veri alışverişinde bulunurlar. Veri transferi için çeşitli avantajları bulunan DDS (Data Distribution Service) ara katman mimarisi veri merkezli ağ haberleşmesi için sıklıkla kullanılmaktadır. Ölçeklendirme, yönetim ve izleme amaçlarına yönelik olarak kullanılan ara katman mimarisinin sağladığı birçok servis kalitesi (QoS) özelliği ile güvenilir veri aktarımı gerçekleştirilir. Bununla birlikte, olası ağ kesintileri, yavaşlama ya da veri kaybı oluşturabilecek senaryolar için yazılım geliştirme aşamasında ağ benzetimi yapılması, olası hataların erken tespiti ve düzeltilmesi maliyet ve zaman açısından faydalı olacaktır. Bu çalışmada DDS ara katman mimarisine yönelik ağ kesintisi, bant genişliği daralması, paket kaybı ve ağ topolojisine yönelik olası incelemeler için bir benzetim modeli ve yazılım mimarisi önerilmiştir. Buna göre, veri iletim ağının belirli noktalarının davranışı değiştirilerek ağ gecikmesi, paket kaybı ya da servis kesintisi durumlarında yazılım davranışlarının incelenmesi sağlanmıştır. Ağ benzetimi ve test sistemi için bir arayüz yazılımı geliştirilerek ağ bağlantısının farklı durumlar için benzetimi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Ara Katman Mimarileri, DDS, Ağ Benzetimi

Network Simulation of Middleware Used for The Internet of Things

ABSTRACT: Within the scope of the Internet of Things (IoT), many data generating systems transfer data over the network. DDS (Data Distribution Service) middleware architecture, which has various advantages for data transfer, is frequently used for data-centered network communication. Reliable data transfer is achieved with many quality of service (QoS) features provided by the middleware architecture used for scaling, management and monitoring purposes. However, for scenarios that may cause potential network outages or data loss, network simulation, early detection and correction of potential errors will be beneficial in terms of cost and time. In this study, a simulation model and software architecture are proposed for possible investigations of network interruption, low bandwidth, packet loss and network topology for DDS middleware architecture. Accordingly, by changing the behavior of certain points of the data transmission network, it is possible to examine the software behavior in case of network delay, packet loss or service interruption. It is aimed to simulate network connection for different situations by developing a software for network simulation and test system.

Keywords: Internet of Things, Middleware, DDS, Network Simulation

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) kavramı ile temel olarak veri üreten sistemlerin birbirleri ile yoğun veri paylaşımında bulunan birçok nesnenin varlığı ifade edilmektedir (Huang et al. 2014). IoT

sistemleri sistemin davranışı bakımından algılama, iletim, hesaplama ve uygulama katmanları ile ayrıştırılmaktadır. Algılama ve hesaplama katmanları verinin üretimi için kullanılırken iletim ve uygulama katmanları verinin değerlendirilmesi, işlenmesi ve iletilmesi için kullanılmaktadır. Sistemlerin etkileşimi için oluşturulan ağların tasarlanması ve yönetilmesi oldukça kritik ve zaman alıcı faaliyetlerdir. Sistemi oluşturan bileşenler ve nesnelerin coğrafi konumları, iletişim ve ağ yetenekleri ve veri iletim performans gereksinimleri değişkenlik gösterecektir.

IoT sistemlerinde nesnelere belirli bir ağ topolojisinde veri transferini gerçekleştirirken sistemin iletişim gereksinimlerini de karşılaması beklenir (Wytrębowicz ve diğ., 2021). Bu kapsamda verinin iletilme garantisi ya da iletim hatalarının tespiti için farklı metodoloji ve protokoller geliştirilmiştir (Mısırlı ve Gökrem 2020). IoT verimliliğini arttırmak ve etkili, akıllı hizmetler oluşturmak için ağ ortamının ve heterojen yapısı nedeni ile olası senaryoların modellenmesi oldukça zordur (D'Angelo ve diğ., 2016). Bununla birlikte IoT sisteminin sahaya alınmadan ağın yapısına göre test edilmesi, nitel ve nicel yönlerden ağ simülasyonunun yapılması ve olası hataların erken tespit edilerek giderilmesi önemli olacaktır. Ayrıca ağ simülasyonu ile kapasite planlaması, durum analizi, proaktif yönetim ve güvenlik ile ilgili birçok değerlendirme yapılabilecektir (Aksoy ve diğ., 2011).

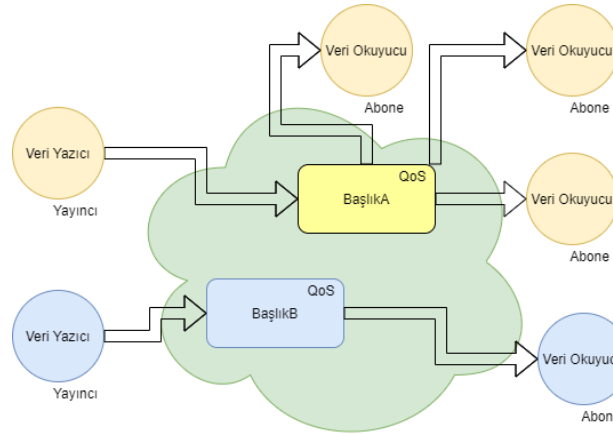
IoT sistemlerin veri alışverişi için farklı protokoller önerilmiş ve bu protokollere özgü birçok ara katman mimarisi geliştirilmiştir (Özdoğan ve Erdem 2020). İletim başarımını doğrudan etkileyebilecek bu protokollerin günümüzde en sık kullanılanları DDS, MQTT, XMPP, AMQP, CoAP ve hatta HTTP protokolleridir (Naik 2017). Standart ve gerçek zamanlı iletişim modeli için standart protokollerin kullanılması istense de son yıllarda değişen gereksinimlere göre bu protokoller artmakta, güncellenmektedir. Bununla birlikte IoT cihazlarının sistem kaynaklarının kısıtlı olması, gerçek zamanlı ve deterministik iletim gereksinimi bulunması nedenlerinden ötürü RTPS(*real-time publish subscribe protocol*) gibi bazı protokollerin kullanımı daha sınırlı olacaktır. OMG (Object Management Group) tarafından açık kaynaklı olarak sunulan veri dağıtım servisi, DDS, son yıllarda birçok farklı ölçek ve senaryo için kullanım alanı bulmuş, yüksek performanslı iletim kabiliyeti, ölçeklenebilirliği ve yönetim kolaylığı ile öne çıkmıştır (Baunthiyal 2021; David ve diğ., 2013; Kang ve diğ., 2020; Pardo-Castellote 2003).

Ağ iletim protokolleri kendilerine özgü trafik akış kontrolleri, iletim mekanizmaları barındırdıkları için uygulama geliştirme aşamasında protokollerin yanı sıra IoT sistemlerin cihaz özellikleri, ağ topolojisi, iletişim gereksinimleri ve kaynak planlaması göz önünde bulundurulmaktadır. IoT sistemlerinin bulunduğu ağlar geniş ölçekli oldukları için uygulamaya geçmeden önce test ve analiz için simülatör yazılımları kullanılır (Cuzme-Rodríguez ve diğ., 2019). GNS3, NS2, NS3, OMNET++, OPNET, Contiki-Cooja simülatör yazılımları ağ simülasyonu için sıklıkla kullanılmaktadır (Aksoy ve Das 2019; Emiliano ve Antunes 2015; Gil ve diğ., 2015; Gürtürk ve Daş 2017; Lal N ve diğ., 2016; Liu ve diğ., 2020; Varga 2010; Varga ve Hornig 2008). Bu simülasyon yazılımları kullanım amacına göre çeşitli avantajlar içermektedir. Örneğin GNS3 daha çok yönlendirici cihazların mevcut gömülü imajlarının sanallaştırılmasına odaklanmışken OMNET++ farklı algoritmaların ve protokollerin geliştirilmesine yönelik bağımsız bir alan dili (NED) vasıtası ile senaryo simülasyonuna ağırlık vermiştir. Benzer şekilde ns-3 ağ simülatör yazılımının oldukça güçlü özellikleri bulunmaktadır. Özellikle ağ bileşenlerinin ve katmanlarının modellenmesi için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır (Daş ve Bitikçi 2020). Bununla birlikte ns-3 ayrık olay (discrete event) simülasyon metodolojisi kullandığından dolayı ağ yazılımlarının modellenmesi aşamasında performans kaybı oluşacaktır. ns-3 yazılımında sistem yazılımları ve çok iş parçacığı (multi-threads) içeren yazılımların modellenmesi için ayrıca önlemlerin alınması gerekmektedir, modelin yakın gerçek zamanlı çalışmayacağı göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

IoT sistemlerinin veri transferi sırasında olası ağ kesintileri, yavaşlama ya da veri kaybı oluşturabilecek senaryolar için yazılım geliştirme aşamasında ağ benzetimi yapılması, olası hataların erken tespiti ve düzeltilmesi maliyet ve zaman açısından faydalı olacaktır. Bu çalışmada DDS ara katman mimarisine yönelik ağ kesintisi, bant genişliği daralması, paket kaybı ve ağ topolojisine yönelik olası incelemeler için bir benzetim modeli ve yazılım mimarisi önerilmiştir. Buna göre, veri iletim ağının belirli noktalarının davranışı değiştirilerek ağ gecikmesi, paket kaybı ya da servis kesintisi durumlarında yazılım davranışlarının incelenebilmesi sağlanmıştır. Çalışmada ara katman yazılımlarının fiziksel olmayan

ağlarda test edilmesi, olası ağ problemleri senaryolarına karşı davranışlarının incelenmesi için bir yaklaşım ortaya konmuştur. Bunun için sanallaştırma teknolojisi kullanarak ağ bileşenlerinin yüksek başarılı benzetimini amaçlayan GNS3 yazılımının, ara katman yazılımlarının test edilmesi için oldukça güçlü bir alternatif olduğu söylenebilir. Bununla birlikte GNS3'te fiziksel katman modellenmesi ve olası ağ kesintileri ile performans kaybı senaryolarının test edilmesi oldukça zordur.

IoT sistemlerinde veri transferi için veri merkezli yaklaşımı, gerçek zamanlı veri aktarım kabiliyeti, ölçeklenebilirliğin yüksek olması ve performans gereksinimlerini karşılayabilecek farklı servis kalitesi sunması gibi sebeplerden ötürü DDS son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Kang ve diğ., 2020). Aktarılan verinin aktarım başarısıyla birlikte, veri bütünlüğü ve güvenilirliğinin sağlanmasına da yardımcı olan DDS ara katmanı Object Management Group (OMG) tarafından yayıncı-abone (publish-subscribe) metodolojisini merkeze alan ve birçok farklı servis kalitesi sunan bir standart mimari olarak sunulmuştur (Specification 2007). DDS ile uygulamalar veri merkezli olarak belirli başlıklar (topics) dahilinde aktarım yapabilir, ya da abone oldukları başlıklar içinde yayınlanmış verilere belirli bir servis kalitesi ile ulaşabilirler (Pardo-Castellote 2003). DDS ara katman mimarisinde yer alan nesnelere ve uygulamalar ağda serbest olarak ağ adresi, protokol, port numarası, kimlik doğrulaması ya da yetkilendirilmesi gibi alt seviye ağ yapılandırılması ile ilgili konulardan ayrıştırılabilirler. Şekil-1'de ağda bulunan nesnelere yerine, veri merkezli olarak abone rolündeki veri okuyucuları (data readers), yayıncı rolündeki veri yazıcıları (data writers) ile başlık (topic) ve servis kaliteleri şeması verilmiştir. DDS ara katmanı ile ağ bileşenleri arasındaki iletişim çok daha net ölçeklenebilmekte, izlenebilmekte ve yönetilebilmektedir.



Şekil 1. DDS veri aktarım yaklaşımı şeması

Figure 1. DDS Data Distribution Schema

DDS ara katman standardı için ticari ya da açık kaynaklı olarak birçok yazılım geliştirilmiştir (Baunthiyal 2021; Kwon ve diğ., 2017). Bu yazılımlar DDS standardının sunduğu yönlendirme, yapılandırma, yönetim, kayıt ve yeniden oluşturma benzeri birçok ek özellik sunmaktadır. Farklı gerçekleştirimlerin özellikle veri filtreleme, yönlendirme ve günlük oluşturma performansları oldukça dikkat çekicidir (Baunthiyal 2021). İletim modeli ya da iletimin alt seviye gerçekleştiriminden ziyade verinin kendisine ve verinin semantik yapısına odaklanan DDS tabanlı iletişim yazılımlarında standart iletişim katmanlarından farklı olarak verinin anlamı ve değerine yönelik filtre ve kurallar uygulanabilmektedir. Böylece TCP, UDP ya da RTPS (Realtime Publish Subscribe) gibi transport standartlarına bağımlı olmayan veri merkezli bir yapı ortaya konabilmektedir. Semantik olarak verinin farklı başlıklar halinde gruplandığı IoT sistemlerinde standart güvenliğin yanı sıra DDS ara katmanı detaylı güvenlik önlemlerine izin verir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, DDS ara katman mimarisinin IoT için gerekli deterministik, hata toleransı yüksek, gerçek zamanlı dağıtık sistemlere yönelik avantajlarının bulunduğu, yazılım dilinden bağımsız ve düşük kaynaklı sistemler için önemli bir alternatif olduğu değerlendirilmiştir (Abels ve diğ., 2017).

DDS ara katmanı birçok farklı QoS sunar ve bunlar sistemlerin hataya dayanıklılık özelliğinin artmasına ve gerçek zamanlı aktarım ihtiyaçlarının karşılanmasına destek olur. Aşağıda sık kullanılan bazı QoS özellikleri listelenmiştir (Artaç ve diğ., 2018);

- Güvenilirlik (Reliability): Veri aktarımının garanti edilmesini sunan servis kalitesidir.
- Kalıcılık (Durability): Verinin daha sonra katılan diğer sistemlere aktarılmasını sağlayan servis kalitesidir.
- Yaşam Ömrü (Life Span): Verilerin geçerlilik süresini sınırlayan servis kalitesidir. Bu serviste geçerlilik süresi dolan verilere erişim sağlanamaz.
- Sahiplik (Ownership): Bir alt sistemin aynı anda birden fazla farklı alt sistemden veri örneği alıp alamayacağını tanımlayan servis kalitesidir.
- Geçmiş Bilgisi (History): Gönderilen verinin en son kaç örneğinin alt sistemler için erişilebilir olacağını tanımlayan servis kalitesidir.

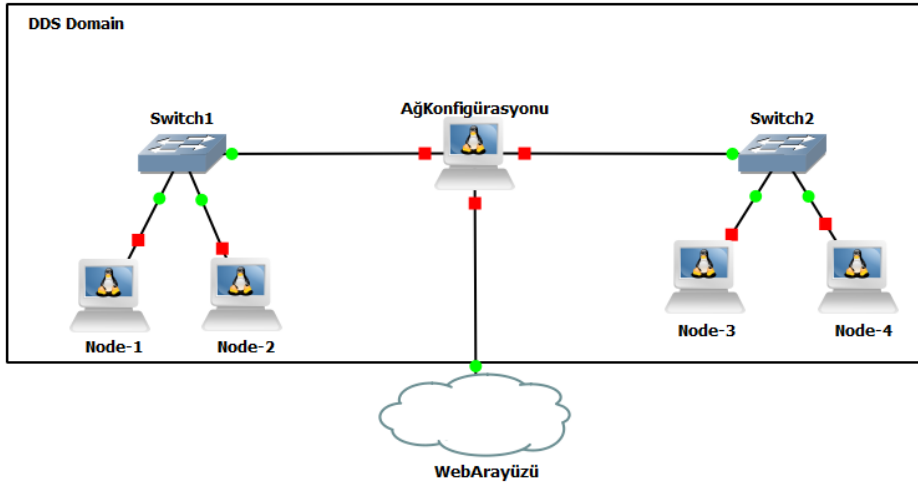
Sanallaştırma teknolojisinin gelişimi ile sistemlerin ve uygulamaların soyutlanması, izolasyonu ve kaynak paylaşımından başka yazılım tabanlı ağların oluşturulması gibi farklı uygulamalarda da yer bulmuştur (Emiliano ve Antunes 2015; Gil ve diğ., 2015; Gürtürk ve Daş 2017; Lal N ve diğ., 2016). GNS3 ağ sanallaştırma ve simülasyonu için ağ tasarımcısının ya da geliştiricisinin yeni ağ protokollerini doğrulamak ve test etmek üzere kullanabileceği bir alternatiftir. OPNET++, OMNET, NS2 ya da NS3 gibi alternatiflere nazaran GNS3 sanallaştırma özelliğini öne çıkararak farklı ağ sistem üreticilerinin cihazlarına ait gömülü imajlarının kullanımına destek vermektedir (Daş ve Bitikçi 2020). GNS3 sanal ve gerçek ağların simülasyonunu yapmak, yönlendiricileri ve diğer ağ bileşenlerini yapılandırmak, test etmek ve hata gidermek için kullanılmaktadır.

GNS3 Virtualbox, VmWare, Docker, Qemu ve HyperV sanallaştırma teknolojilerini desteklemektedir. Sanallaştırma hem işletim sistemi ve disk alanı için hem de macvlan ve ipvlan gibi farklı katmanlardaki ağ bileşenlerinin izolasyonu için kullanılabilir. GNS3 ağ simülasyonunun sağlanması için kendi sanal makinesini sunmaktadır. Ayrıca birçok ticari ya da açık kaynak ağ öncelikli işletim sistemi ya da cihaz gömülü sistem imajları için desteği bulunmaktadır. Başlangıçta Cisco ürünlerinin imajlarına odaklanmışken son yıllarda farklı cihazların da imajlarını desteklemeye başlamıştır. Bu kapsamda birçok işletim sistemi, router, switch ve diğer ağ bileşenlerini desteklemekte fakat gerçek kablosuz cihazların benzetimi yapılamamaktadır. Bununla birlikte GNS3 ağ topolojisi ve kablolu bağlantıların benzetimi için oldukça kullanışlıdır. Kablo bağlantıları üzerinde filtre, duraklatma ve paket kaybı senaryolarını doğrudan desteklemekte, ayrıca web ya da grafik ara yüzü ile kullanıcıların harici programlar ile yapılandırmasına olanak sağlamaktadır.

MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

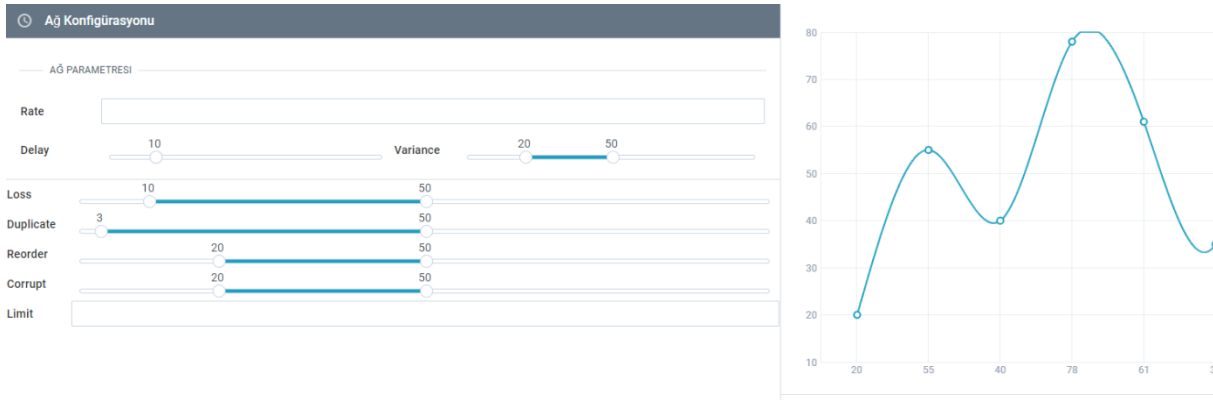
Bu çalışmada DDS ara katmanının sağladığı Reliability, Durability, Life Span ve History QoS yapılandırmaları için ağ fiziksel benzetimine yönelik sanallaştırma temelli bir metot önerilmiştir. Bu kapsamda IoT nesnelerini modellemek üzere GNS3 ağ benzetim yazılımı kullanılmıştır. Ağ benzetimi ile nesnelerin fiziksel olarak bulundurulmasına olan ihtiyaç kaldırılmıştır. GNS3 sanallaştırma yöntemi ile benzetim yaptığı için ağ bileşenlerinin kendi işletim sistemleri ve yazılımlarını muhafaza ederek ağ konfigürasyonunun ve nesne uygulama yazılımlarının tümleşik olarak benzetimi yapılabilir. Yazılım geliştirme aşamasında ağ benzetimi yapılması, olası hataların erken tespiti ve düzeltilmesi maliyet ve zaman açısından faydalı olacaktır. GNS3 kablosuz ağların modellenmesi ve benzetimi konusunda birçok dezavantaja sahiptir. Özellikle fiziksel katman süreçlerinin benzetimi için GNS3 yerine kablosuz ağların benzetimine odaklanmış diğer benzetim araçları kullanılmalıdır.

Bununla birlikte bu çalışmada nesnelerin veri aktarımı için kurulu ve konfigürasyonu tamamlanmış ağın bulunduğu, kablosuz ağlarda olası kalıcı ve geçici kesintilerin, yavaşlamanın ya da paket kayıplarının olabileceği değerlendirilerek fiziksel katmandan ziyade OSI modelinde veri bağlantı, Ağ ve üzeri katmanlar üzerinde durulmuştur. Bu da yazılım geliştirme aşamasında veri ve paket kayıplarının, ağ gecikmelerinin benzetimi için makul bir yaklaşımdır. Bu nedenle GNS3 aracının yeterli ve yetkin bir benzetim aracı olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 2. DDS QoS Ağ Benzetimi
Figure 2. DDS QoS Network Simulation

IoT nesnelere kendi uygulama yazılımları dahilinde veri üretmek için ağı iletmektedir (Şekil-2). Bu aşamada yayınlanan veriler abone diğer nesnelere ulaşmaktadır. Bu sanallaştırılmış benzetim modeli doğrudan gerçek uygulama kullanıldığı için sahaya alındığında herhangi bir değişikliğe ihtiyaç kalmayacaktır. Bununla birlikte örneğin ağ kesintisi olduktan sonra kesinti giderildiğinde eski değerlerin de otomatik aktarımının yapılabilmesi için, ya da yeni eklenen nesnelere ağı dahil olduğu durumda verilerin ulaşmasını sağlayabilmek için farklı QoS yapılandırmaları bulunabilir. Bu senaryoların gerçekleştirilebilmesine yönelik olarak ağ kesintisinin sağlanması, yavaşlama ya da rastsal paket kaybı benzetimi için Şekil-3'te gösterilen web arayüzü geliştirilmiştir.



Şekil 3. Ağ Davranış Yapılandırma Web Arayüzü
Figure 3. Network Behavior Configuration Web Interface

Bu kapsamda Ubuntu sanal makinesi üzerinde (Şekil-2, Ağ Konfigürasyonu, Ubuntu 20.04) tc (traffic control) programı kullanılmış, programa ait geniş parametre kullanımı için web arayüzü kullanılmıştır. tc komutu paketlerin bir yönlendirici üzerinde alındığı ve iletiildiği kuyruk sistemleri ve mekanizmaları için kullanılır. Bir ağ arabiriminin girişinde hangi paketlerin hangi hızda kabul edileceğine karar vermeyi ve çıkışında hangi paketlerin hangi sırayla hangi hızda iletileceğinin belirlendiği yapılandırma parametrelerini kullanır.

```
> tc qdisc add dev eth0 root netem delay 100ms
```

komutunun Şekil-2'deki "AğKonfigürasyonu" Linux bilgisayarında çalıştırılması ile her iki switch arasında 100ms'lik gecikme benzetimi yapılabilmektedir. Benzer şekilde ağın duraklatılması, bağlantının kaldırılması ve paket kaybı senaryoları da uygulanabilir.

```
> tc qdisc add dev eth0 root netem loss 20%
```

komutu ile %20 olasılıkla paket kaybı benzetimi sağlanabilmektedir. tc komutu haricinde GNS3 sanal sunucusu REST API desteği sağladığı için gerçekleştirilen ara yüz yazılımında hem tc komutu hem de REST istekleri oluşturan yapı geliştirilmiştir.

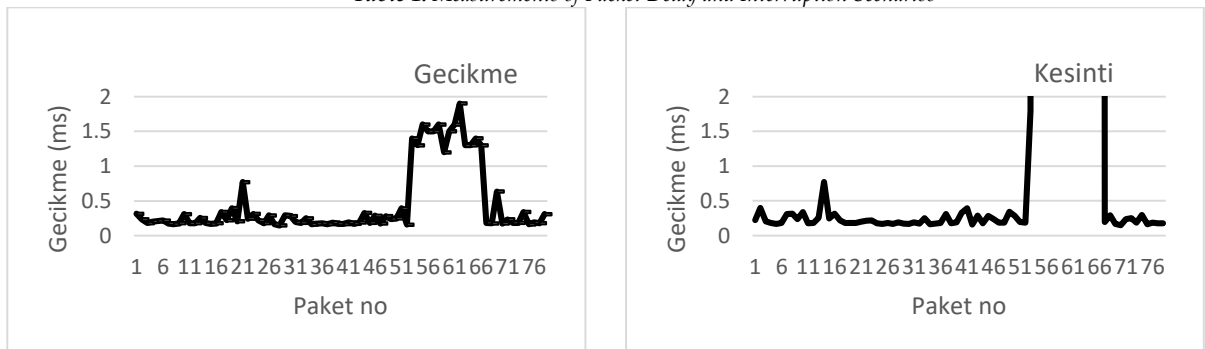
Node 1-4 DDS IoT nesnelere birbirleri arasında veri transferi gerçekleştirirken uygulama katmanından tamamen bağımsız olmak üzere, Layer2 ve Layer3'te ağ davranışı değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada özellikle Reliability, Durability, History ve Life Span QoS'larına yönelik testlerde izole bir şekilde ağ senaryolarının gerçekleştirilebildiği gösterilmiştir.

PERFORMANS ANALİZİ (PERFORMANCE ANALYSIS)

Bu çalışmada IoT nesnelerinin yazılımları değiştirilmeden olası ağ kesinti, yavaşlama ya da veri kaybı senaryolarındaki davranışlarının incelenmesine yönelik bir metot önerilmiştir. IoT veri aktarımı için özellikle DDS ara katman mimarisinin birçok avantajı bulunduğu literatürde yer almaktadır değerlendirilmiştir (Abels ve diğ., 2017; Baunthiyal, 2021; Kwon ve diğ., 2017). Ara katman mimarilerinin en önemli avantajı ağ merkezli yazılım geliştirme yaklaşımı yerine veri merkezli geliştirme modelinin uygulanabilmesidir. Böylece geliştirici karmaşık ağ yapısına bağımlılığı olmayan ve ağ konfigürasyonundan izole edilmiş bir yapı kullanarak yazılım geliştirebilecektir. Bununla birlikte bu durumda da ağın fiziksel koşullarındaki testler için farklı araçlara ihtiyaç duyacaktır. Varga 2010, Omnet++/ INET ayrık zaman simülasyon aracı ile ağı modelleyerek karmaşık senaryolardaki test işlemlerinin yöntemini sunmuştur. Bununla birlikte -diğer benzer çalışmalarda da olduğu gibi- ağ testleri için oldukça zaman alıcı modelleme ve yazılım geliştirme faaliyetleri tamamlanmalıdır. Bu çalışmada ise yazılım değişikliğine ihtiyaç duyulmadan dağıtık mimarideki nesnelerin kendi aralarındaki veri aktarımının deterministik test koşullarında ve tekrar edilebilen deney tasarımları ile test edilebilmesi sağlanmıştır. Çizelge 1'de aynı olay zamanı içerisinde (51-65. Paketler arası) sırasıyla 1ms gecikme durumu ya da geçici kesinti durumundaki ölçümler verilmiştir. Tekrarlanabilir deney tasarımı ile uç noktalarda çalışan yazılımlara ve ağ konfigürasyonuna müdahale edilmeden testlerin yapılabilmesi sağlanmıştır.

Çizelge 1. Paket Gecikme ve Kesinti Senaryolarına Ait Ölçümler

Table 1. Measurements of Packet Delay and Interruption Scenarios



SONUÇ (CONCLUSION)

IoT sistemlerinin birbirleri arasındaki veri transferi için birçok avantajı bulunan DDS ara katman mimarisi ölçeklendirme, yönetim ve izleme gereksinimlerinin sağlanması ve gerçek zamanlı transfer ve farklı servis kalitesi (QoS) özellikleri ile son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. DDS kullanan uygulama yazılımları ise olası ağ kesintileri, yavaşlama ya da veri kaybı oluşturabilecek senaryolar için test edilmesi

ISIDIMDT21 2. Uluslararası Dijital Endüstri Uygulamaları ve Dijital Dönüşümün Yönetimi Sempozyumunda sunulan bildiriler arasından seçilmiştir (10-11 Kasım 2021 Konya, TÜRKİYE).

önemli olacaktır. Yazılım geliştirme aşamasında ağ benzetimi yapılması, olası hataların erken tespiti ve düzeltilmesi maliyet ve zaman açısından faydalı olduğu açıktır. Bu çalışmada DDS ara katman mimarisine yönelik ağ kesintisi, bant genişliği daralması, paket kaybı ve ağ topolojisine yönelik olası incelemeler için bir benzetim modeli ve yazılım mimarisi önerilmiştir. Buna göre, veri iletim ağının belirli noktalarının davranışı değiştirilerek ağ gecikmesi, paket kaybı ya da servis kesintisi durumlarında yazılım davranışlarının incelenebilmesi sağlanmıştır. Ağ benzetimi ve test sistemi için bir web ara yüz yazılımı geliştirilerek ağ bağlantısının farklı durumlar için benzetimi amaçlanmıştır. Sonuç olarak önerilen yaklaşımın son günlerde artan ara katman yazılımları kullanan IoT sistemlerinin testleri için oldukça faydalı olacağı değerlendirilmiştir. Benzer şekilde MQTT, AMQ ve diğer protokollerin de farklı ağ durum senaryolarında nasıl reaksiyon göstereceğinin test edilmesi için önerilen yaklaşım kullanılabilir.

Literatürde ağ benzetimi için ns-3, omnet++, opnet, netsim vb. ayrık olay simülatörleri kullanılmaktadır. Bu ve benzeri simülatörlerin oldukça kapsamlı modelleme yeteneklerinin bulunması ile fiziksel katman dahil olmak üzere ağ haberleşme sistemlerinin birçok alt sistemi modellenenmektedir. Bununla birlikte ayrık olay çevriminin getirdiği performans kaybı nedeni ile bu tür simülatör yazılımlarına farklı proseslerde çalışan gerçek ağ yazılımların modele dahil edilmesi oldukça zordur. Bu çalışmada sanallaştırma teknolojisi kullanarak yazılım içeren ağ bileşenlerinin gerçek imajlarının kullanılabilirdiği araçlar kullanılarak ara katman yazılımlarının test edilebilmesine yönelik yeni bir yaklaşım uygulanmış, sonuçları verilmiştir.

Günümüzde IoT ya da yüksek performanslı veri haberleşmesi için birçok avantajı bulunan ve farklı problemler için çeşitli çözüm önerileri sunan ara katman teknolojileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada bu teknolojilere kısaca yer verilmiştir. Ara katman mimarileri en düşük OSI-Layer-4 (Taşıma: *Transport*) katmanında çalışmakta ve ağın tam ve kesintisiz olduğunu varsaymakta, fakat ağda kısmi ve geçici kesintilerin olması senaryolarına karşılık farklı yöntemler geliştirerek farklı QoS gereksinimlerini karşılamak üzere çözümler geliştirmiştir. Bu çalışmada ara katman mimarileri kullanan yazılımların kısmi ya da geçici ağ kesintisi, yavaşlama vb. senaryolardaki davranış ve çalışma şekillerinin test edilebilmesine yönelik sanal ve gerçek ağ bileşenlerinin birlikte bulunabilirdiği ve asgari kaynak kullanımı ile hızlı devreye alınabilecek bir test ve simülasyon metodolojisi önerilmiştir. Bu kapsamda geliştirilen uygulama yazılımında değişiklik yapılmadan farklı ağ senaryolarında test edilebilmeleri mümkün olmaktadır. Çalışmada ağ benzetim yazılımları (Omnet, ns-3, GNS3 vb.) karşılaştırılmış, ara katman yazılımları kullanılarak geliştirilen ağ yazılımları üzerinde değişiklik yapılmaması gereksinimini karşılamak üzere GNS-3 yazılımı kullanan oldukça etkin bir yöntem sunulmuştur.

Gelecek çalışmalarda kablosuz ağların davranışlarının da benzetimi hedeflenerek mobil nesnelerin kapsama alanı dışına çıkması ya da aralarındaki mesafeye bağlı olarak modülasyon şemasının dinamik olarak değişebildiği yeni nesil kablosuz sistemlerde uygulama yazılım davranışının modellenmesi yapılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGE)

Bu çalışmanın özeti 2nd International Symposium on Implementations of Digital Industry and Management of Digital Transformation (ISIDIMDT'21), 10-11 November 2021, Konya/Türkiye sempozyumunda sunulmuştur.

A short and summarized version of this study has been presented in 2nd International Symposium on Implementations of Digital Industry and Management of Digital Transformation (ISIDIMDT'21), 10-11 November 2021, Konya/Turkey.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Abels, Tim, Rahul Khanna, Kevin Midkiff. 2017. "Future Proof IoT: Composable Semantics, Security, QoS and Reliability." *Proceedings - 2017 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks, WiSNet 2017* 1-4. doi: 10.1109/WISNET.2017.7878740.

- Aksoy, Ekrem, Selçuk Canbek, Nihat Adar. 2011. "Dds-Based Heterogeneous Robots Communication Middleware." *Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi* 3(1):95–100.
- Aksoy, Faruk, Resul Das. 2019. "Yazılım Tanımlı Ağlar İçin OMNeT++ Platformunda OpenFlow Protokolünün Benzetimi." *2019 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, IDAP 2019*. doi: 10.1109/IDAP.2019.8875878.
- Artaç, Saniye Asena, İlker Koyuncu, Aylin Hatip İpek. 2018. "Veri Dağıtım Servisi Tabanlı Dağıtık Sistem Test Yaklaşımı." in *12th Turkish National Software Engineering Symposium, UYMS 2018*.
- Baunthiyal, Aditya. 2021. "Criteria Set for Evaluation of Different DDS Distributions." *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* 9(1):119–28. doi: 10.22214/ijraset.2021.29243.
- Cuzme-Rodríguez, Fabián, Ana Umaquina-Criollo, Luis Suárez-Zambrano, Henry Farinango-Endara, Hernán Domínguez-Limaico, Mario Mediavilla-Valverde. 2019. "Simulation Tools for Solving Engineering Problems. Case Study." *Communications in Computer and Information Science* 1193 CCIS:271–85. doi: 10.1007/978-3-030-42517-3_21.
- D'Angelo, Gabriele, Stefano Ferretti, Vittorio Ghini. 2016. "Simulation of the Internet of Things." *2016 International Conference on High Performance Computing and Simulation, HPCS 2016* 1–8. doi: 10.1109/HPCSIM.2016.7568309.
- DAŞ, Resul, Burak BİTİKÇİ. 2020. "Analysis of Different Types of Network Attacks on the GNS3 Platform." *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences* 3(3):210–30. doi: 10.35377/saucis.03.03.721364.
- David, Lincoln, Rafael Vasconcelos, Lucas Alves, Rafael André, Markus Endler. 2013. "A DDS-Based Middleware for Scalable Tracking, Communication and Collaboration of Mobile Nodes." *Journal of Internet Services and Applications*. doi: 10.1186/1869-0238-4-16.
- Emiliano, Rodrigo, Mário Antunes. 2015. "Automatic Network Configuration in Virtualized Environment Using GNS3." *10th International Conference on Computer Science and Education, ICCSE 2015* 25–30. doi: 10.1109/ICCSE.2015.7250212.
- Gil, Pablo, Gabriel J. Garcia, Angel Delgado, Rosa M. Medina, Antonio Calderon, and Patricia Marti. 2015. "Computer Networks Virtualization with GNS3: Evaluating a Solution to Optimize Resources and Achieve a Distance Learning." *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE 2015-February*(February). doi: 10.1109/FIE.2014.7044343.
- Gürtürk, Uğur, Resul Daş. 2017. "A Review of Network Simulation and Modeling Tools." *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering* 17(2):516–36. doi: 10.5578/fmbd.59691.
- Huang, Jun, Yu Meng, Xuehong Gong, Yanbing Liu, Qiang Duan. 2014. "A Novel Deployment Scheme for Green Internet of Things." *IEEE Internet of Things Journal* 1(2):196–205. doi: 10.1109/JIOT.2014.2301819.
- Kang, Zhuangwei, Robert Canady, Abhishek Dubey, Aniruddha Gokhale, Shashank Shekhar, Matous Sedlacek. 2020. "A Study of Publish/Subscribe Middleware under Different Iot Traffic Conditions." Pp. 7–12 in *M4IoT 2020 - Proceedings of the 2020 International Workshop on Middleware and Applications for the Internet of Things, Part of Middleware 2020 Conference*.
- Kwon, Giil, Jinseop Park, Gu Lee, Taehyun Tak, Woongryol Lee, Jaesic Hong. 2017. "Development of Real-Time Data Publish and Subscribe System Based on Fast RTPS for Image Data Transmission." doi: 10.18429/JACoW-ICALEPCS2017-TUPHA040.
- Lal N, Dayan, Ghorbani, Benham. 2016. "A Survey on the Use of Gns3 for Virtualizing Computer
- ISIDIMDT21 2. Uluslararası Dijital Endüstri Uygulamaları ve Dijital Dönüşümün Yönetimi Sempozyumunda sunulan bildirimler arasından seçilmiştir (10-11 Kasım 2021 Konya, TÜRKİYE).

- Networks.” *International Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)* 5(1):49–58.
- Liu, Jinxin, Burak Kantarci, Carlisle Adams. 2020. “Machine Learning-Driven Intrusion Detection for Contiki-NG-Based IoT Networks Exposed to NSL-KDD Dataset.” *WiseML 2020 - Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Wireless Security and Machine Learning* 25–30. doi: 10.1145/3395352.3402621.
- Mısır, Oğuz, Levent Gökrem. 2020. “Nesnelerin İnterneti İçin MQTT İle Hiyerarşik Haberleşme.” *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences* (12):1–11.
- Naik, Nitin. 2017. “Choice of Effective Messaging Protocols for IoT Systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP.” *2017 IEEE International Symposium on Systems Engineering, ISSE 2017 - Proceedings*. doi: 10.1109/SYSENG.2017.8088251.
- Özdoğan, Erdal, O. Ayhan Erdem. 2020. “Nesnelerin İnterneti İçin Hibrit Uygulama Katmanı Protokol Tasarımı.” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 8(1):285–304.
- Pardo-Castellote, G. 2003. “OMG Data-Distribution Service: Architectural Overview.” in *Proceedings - 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, ICDCSW 2003*.
- Specification, O. M. G. Available. 2007. “Data Distribution Service for Real-Time Systems Version 1.2.” *Manual of Object Management Group* 1.
- Varga, Andras. 2010. “OMNeT++.” *Modeling and Tools for Network Simulation* 35–59. doi: 10.1007/978-3-642-12331-3_3.
- Varga, András, Rudolf Hornig. 2008. “An Overview of the OMNeT++ Simulation Environment.” in *SIMUTools 2008 - 1st International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems*.
- Wytrębowicz, J., Cabaj, K., Krawiec, J. (2021). Messaging protocols for IoT systems—A pragmatic comparison.