Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **17** (2017) 025102 (516-536) AKU J. Sci. Eng.**17** (2017) 025102 (516-536)
DOI: 10.5578/fmbd.59691

Derleme Makalesi / Compilation Article

Ağ Benzetim ve Modelleme Araçlarının İncelenmesi

Uğur Gürtürk, Resul Daş

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ

e-posta: rdas@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 21.01.2017 ; Kabul Tarihi: 08.08.2017

Anahtar kelimeler
Ağ Simülatörü; Ağ Simülasyonu; OMNeT++; OPNET Modeler; Cisco Packet Tracer; GNS3

Özet

Bilgisayar ağ sistemleri konularında, akademik çalışmalar yapmak, bir ağ protokolünün çalışmasını kontrol etmek ya da doğrulamak için bir çok benzetim araçları vardır. Bu araçların kullanılması ile ağ tasarımı ve analizi daha kolay ve maliyeti çok daha azdır. Ayrıca, ağ simülatör araçları ağ tasarımcılarının yeni ağ protokollerini test etmelerine veya mevcut protokollerin kontrollü ve tekrarlanabilir bir şekilde değiştirmelerine izin vermek için de faydalı olmaktadır. Bu makale çalışmasında, günümüzde yaygın olarak kullanılan mevcut ağ benzetim ve modelleme araçları, detaylıca incelenmiştir. Ayrıca, bu araçların temel özellikleri, avantaj ve dezavantajları sunulmuş, bu alanda çalışma yapan araştırmacıların kullanabilecekleri araçlar konusunda yol gösterilmiştir.

A Review of Network Simulation and Modeling Tools

Keywords
Network Simulator; Network Simulation; OMNeT++; OPNET Modeler; Cisco Packet Tracer; GNS3

Abstract

Computer network systems have many simulation tools to conduct academic studies and to verify or verify the operation of a network protocol. The use of these tools makes network design and analysis easier and less costly. In addition, network simulator tools are also useful for allowing network designers to test new network protocols or to change existing protocols in a controlled and repeatable way.In this paper, current network simulation and modeling tools that are widely used today are examined in detail. In addition, the basic features, advantages and disadvantages of these tools are presented, and tools are available for researchers working in this field.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

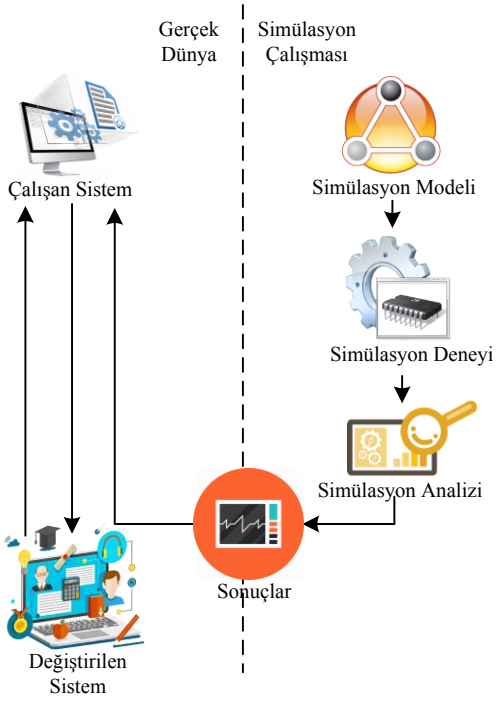
Mühendislik Dergisine GÖNDERİLDİ

1. Giriş

Günümüzde birçok bilim, mühendislik veya diğer uygulama alanlarında farklı amaçlar için uygulanabilen simülasyon, çok önemli bir modern teknolojidir. Bilgisayar aracılığıyla çizilebilen simülasyon, varsayımsal olan veya gerçek hayatta olan nesneleri veya etkinlikleri bir bilgisayarda modelleyebilir, böylece sistemin nasıl çalıştığı detaylı olarak incelenebilir. Bir sistemin genel yapısını anlamak ve davranışını tahmin etmek amacıyla farklı değişkenler kullanılabilir. Bilgisayar simülasyonu, pek çok sistemde modelleme ve analiz işlemleri için yardımcı olabilmektedir. Mevcut uygulama alanları arasında fizik, kimya, biyoloji ve ekonomi, finans ve hatta sosyal bilim alanlarındaki insan kaynaklı sistemleri bulunur. En önemli uygulama alanı ise mühendisliktir. İnşaat mühendisliği, yapısal mühendislik, makine mühendisliği gibi mühendislik alanlarında kullanılmasının yanı sıra ağ ve haberleşme mühendisliği alanında önemli bir yer tutmaktadır (Maria 1997).

Simülasyon teknolojisin, ağ trafiğinin benzetimi ve ağ genel yapısının modellenmesi gibi ağ alanlarına uygulanması yeni bir gelişme olarak karşımıza çıkmaktadır. Ağ simülasyonunu gerçekleştirmek için, bilgisayar destekli benzetim araçları kullanılmaktadır. Ağ simülasyonları, sadece görsel veya gerçek zamanlı izleme özelliklerinden daha çok, dağıtılmış protokol veya bazı özel algoritmanın performansına veya geçerliliğine daha fazla önem vermektedir. Bu nedenle, ağ teknolojilerinin çok hızlı bir şekilde gelişmesine paralel olarak birçok farklı araçlar üretilmektedir. Geliştirilen ağ benzetim araçlarının önemi ve kalitesi, ağ ortamlarında yaygın olarak kullanılan algoritma ve protokolleri desteklemesine bağlıdır. Ayrıca

gerçekleştirilen benzetimlerin görselleştirmelerine olanak tanıması büyük bir avantajdır. Aşağıda verilmiş olan Şekil-1'de bir simülasyon çalışmasının genel bir şeması verilmiştir.



Şekil 1. Bir simülasyon çalışmasının şeması

Bu nedenle, ağ simülasyonları her zaman, tüm ağ simülasyonlarında farklı çabalar ve farklı paketler içerecek kadar ölçeklendirilebilir açık platformlar gerektirmektedir. Internet, tüm farklı katman teknolojilerinin farklı şekilde uygulanabileceği, komşu katmanlarıyla üniform bir arabirime sahip olduğu bir ağ yığını (TCP / IP) ile yapılandırılmış bir özelliğe sahiptir. Böylece, ağ simülasyon araçları, bu özelliği bir araya getirebilmeli ve farklı gelecekteki yeni paketlerin dahil edilmesine ve şeffaf bir şekilde çalışmasına izin vermelidir. Yapmış olduğumuz bu çalışma ile ağ simülasyonu alanında bazı temel kavramlar tanıtılmıştır. Ayrıca ağ simülasyonu ve simülatörünün temel yapısı belirtilmiş, simülasyon işlemini gerçekleştirecek ağ benzetim modelleme araçları açıklanmıştır. Açıklanan bu araçların genel yapısı hakkında bilgi verilmiş ve bu araçlarının farklılık ve avantajları kıyaslanmıştır (Maria 1997; Baykara et al. 2013).

2. Literatür Taraması

Hassouna A. B. ve diğerleri çalışmalarında, NS-2'de bir MAC protokolünü dağıtmak için bir model önermişlerdir ve bu modeli oluşturma çalışmalarını tanıtmışlardır. NS-2'de uygulamış oldukları farklı fonksiyonları bu modelin temelinde de vermişlerdir. Çalışmalarındaki temel amaçları çok kullanıcılı çeşitliliği kullanan protokolleri uygulamak için kullanılabilen bir NS-2 uzantısı sağlamaktır. Ayrıca yeni bir MAC protokollerinin uygulanmasını gösteren iki örnek vererek NS-2 uzantısının nasıl kullanılacağını açıklamışlardır (Hassouna et al. 2012).

Rattal S. ve diğerleri yapmış oldukları makale çalışmasında OPNET Modelleyicisi'nde H.323 protokolünü destekleyen yeni bir SIP Proxy prototibi önermişlerdir. Bunun yanında makalede, SIP protokolleri üzerine derinlemesine bir çalışma yapmışlardır. Aynı şekilde bu protokolde H.323 çağrılarını kurmak için SIP yapısını kapsayan yeni bir cihaz oluşturmak için yapılan modifikasyonlar ile birlikte, sinyal protokolleri üzerine derin bir çalışma yürütmüşlerdir (Rattal et al. 2014).

Vilhan P. ve diğerleri yaptıkları çalışmada MANET olarak da bilinen ve sabit altyapıya dayanmayan kolay inşa edilen mobil adhoc (özel) ağlara odaklanmışlardır. MANET'in simülasyonunun zorluğuna, test ve simülasyon senaryolarını doğru bir şekilde tasarlamanın önemine dikkat çekmişlerdir. Makalenin temel katkısı, MANET'te daha çok PKI olarak adlandırılan açık anahtar altyapısının simülasyonu için, OMNeT++ simülasyon ortamını kurmak için gerekli zamanı azaltmak ve oluşturulmayı basitleştirmek için kullanılan destek aracı olan ADEUS'u tanıtmak olmuştur. ADEUS ise basit ama güçlü bir kullanıcı arabirimi olan OMNeT++ için grafik eklentidir (Vilhan and Gajdos 2012).

Deb S. ve diğerleri adil veri hızlarını ve etkin kullanımı sağlamak için ideal bir MAC'nin farklı kullanıcı konumu ve spektrum bağımlı kanal oranlarını hesaba katması gerektiğini ve bir radyo ve parçalanmış spektrumun ayarlanabilir bant genişliği sınırlı olduğundan, AP'nin birden fazla telsizi desteklemesi gerektiğini iddia etmişlerdir. TV Boşlukları üzerinden kablosuz LAN erişimi için bir MAC tasarlayarak bazı katkılar sağlamışlardır. Öncelikle böyle bir MAC'i etkinleştirmek için bir mimari ve işaret mekanizması önerilmiştir. Bunun yanında 802.11 MAC'ın bir evrimi olduğunu iddia etmişlerdir. AP'nin farklı telsizleri için Whitespaces seçen ve müşterileri radyolara atayan bir algoritma önerilmektedir. Bu algoritmanın kanıtlanabilir bir garantisinin olduğunu ve birçok senaryoda optimum seviyede olduğunu söylemişlerdir. OMNET platformu üzerindeki kapsamlı simülasyon, bir frekans ve müşteri konumu göz ardı edilmeyen Wi-Fi benzeri MAC üzerinden tasarımlarının

yararlarından faydalanmıştır. Tipik işlem hacminin kazancı yüzde 30-76 iken, çarpışmaların azaltılması yüzde 80'e kadar çıktığı görülmüştür. Son olarak da tasarımlarının fizibilitesini, kullanılabilir spektrumun zamansal değişimine karşı sağlamlığı ve sistem verimliliğini gösteren bir kavram tanıtım prototipi (madWiFi sürücülerini değiştirerek) uygulamışlardır (Deb et al. 2015).

Privalov A. Y. ve diğerleri çalışmalarında OMNET ile Kendine eşdeğer Trafik Modeli ile WAN Trafiğininin Analizini ve Simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Kendine has benzer trafik modelinin faydalı bir değişikliğinin uygulandığı bir OMNET paketi sunmuşlardır. Bu paket, gerçek WAN trafik izlerinin analizi için, model parametrelerinin tanımlanması için ve bir dizi özellik ile aynı anda gerçek olan sentetik trafiğin üretimi için tasarlanmıştır. Bu özellikler trafik değeri olasılık dağılımı normalize edilmiş otokorelasyon fonksiyonu ve Hurst parametresini içermektedir. Paketin performansını, CAIDA ve İnternet Trafik Arşivi koleksiyonlarındaki trafik izleriyle test etmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmalar ile modern WAN trafiğinin olasılık dağılımının çok modlu "testere benzeri- Saw-like" olduğunu ortaya koymuştur. Ancak bunun nedenini henüz belirleyememişlerdir (Privalov and Tsarev 2014).

Hendawy M. ve diğerleri OPNET kullanarak Wi-Fi based WNCS'de Paralel Yedekliğin uygulanmasını gerçekleştirmişlerdir. Çift telsiz kablosuz cihazlarla paralel yedek iletim kablosuz iletişimin performansını artırmak için güçlü bir yaklaşımdır. Yazarlar çalışmalarında bu yaklaşımı daha ayrıntılı olarak doğrulamak için, paralel fazlalık için çift telli radyo ile donatılmış 30 sensör ve aktüatör çiftine sahip bir startopoloji WNCS çalışma hücresi üzerinde bir OPNET simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Uygulanan kablosuz simülasyon modeli, IEEE 802.11g (WiFi) standardına dayandırılarak, girişim ortamının endüstriyel ortamdaki etkisinin niceliksel analizi sunulmuştur. Çalışmalarının sonucunda paralel fazlalığın farklı girişim ortamlarında sistem performansını arttırdığını kanıtlamışlardır(Hendawy et al. 2014).

Kaushik A. ve diğerleri yaptıkları çalışmayla ağ üzerinden alındığında hizmet kalitesini artırmak için, dört farklı trafc sınıfının analizini ve sabit aktarım şemalarını analiz etmeyi amaçlamışlardır. UMTS ağlarda çeşitli senaryoları OPNET 14.5 Modeller simülatörü kullanılarak uygulamışlardır. Sonuçları analiz etmek için çeşitli istatistikleri kullanmışlardır (Meenakshi and Kaushik 2014).

Khan S. N. ve diğerleri OMNeT++ 'da Bilişsel Radyo Geçici Ağlar için Ayrık Bir Benzetim Modeli olan crSimulator'ü tanıtmışlarıdır. Bu konudaki temel kavramları, büyük gereksinimleri, bilişsel radyo düğümlerinin mimari modelini ve crSimulator'ın uygulama ayrıntılarını sunmuşlardır (Khan et al.2013).

Zeng W. ve diğerleri NS-2 tabanlı olarak DiffServ Ağ Simülasyonunu gerçekleştirmişler ve performans analizini sağlamışlardır. Halen gelişmekte olan ve araştırma aşamasında olan IP QoS Güvencesi'nin DiffServ uygulaması üzerinde durmuşlardır. DiffServ'te mevcut en büyük sorun olan, sayıları ve hiyerarşik ayrımı farklı özelliklere sahip hizmetleri kullanıcılara nasıl sunacaklarını, aynı zamanda çoklu karışıklığı yakalamak için daha uygun hale getirmek ve toplanan aynı sınıftaki mikro akış adaleti arasında çözülmesi gerektiği konusunu baz alarak DiffServ ağındaki kritik veri kaybını korumaya çalışmışlardır. Bu amaçla da makalelerinde, ilgili simülasyon ağı yapılarını ve bu iki araştırma yönergesinin analizini gerçekleştirmişlerdir (Zeng et al.2012).

Kamoltham N. ve diğerleri NS-2 üzerine bir inceleme gerçekleştirerek bu simülatör hakkında bilgiler vermiş ve bu simülatörün bazı noktalarda eksik kaldığına değinmişlerdir. Bu eksikliklere bir çözüm önerisi getiren NS-3 ile bir kıyaslama gerçekleştirmişler ve NS-3 ün avantajları üzerinde durarak detaylıca açıklamışlardır. NS-2 ve NS-3 arasındaki farklı protokol uygulama noktalarını ayrıntılı bir şekilde ele almışlardır. NS-2 ve NS-3 arasında doğru sonuçlar elde etmek için bazı çözüm önerileri sunmuşlardır. Emülasyon sonuçlarında ortaya çıkan, literatürlerin çoğunda endişe duyulmayan asimetrik bağlantıların neden olduğu bir problemlerden olan protokollerin asimetrik bağlantı senaryolarında çalışmasına yardımcı olacak çözümü önermişlerdir(Kamoltham et al.2012).

Nıar L. I. ve diğerleri, araştırmacılar tarafından yoğun ilgi göre Kablosuz Algılayıcı Ağlarda, görüntüleme yapmak için OMNeT++ ortamında grafiksel bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada özellikle de bu olay izleme sensör ağlarının üzerinde durmuşlardır. Alanın kapsanmasını sağlamak ve şebekenin uzun ömürlü olmasını sağlamak için fazlalık ilkesiyle düğümlerin yeniden konfigürasyonuna dayananan bu protokol yaklaşımının doğrulanmasını OMNeT++ simülatörü kullanılarak değerlendirilmiştir (Niar and Haffaf 2012).

Çobanoğlu B. ve diğerleri çalışmalarında geniş ölçekli ağlarda kullanılmak üzere ayrık olay tabanına dayanan bir dağıtık ağ benzetim yaklaşımı geliştirilmişleridir. Çalışmalarında ayrık olay temeline dayanan modelleme yaklaşımı kullanarak istemci-sunucu tabanlı, birden fazla işletim sisteminde çalışabilen, ölçeklenebilir, esnek 'D-DEVSNET' adında yeni bir ağ benzetim aracının modellenmesini ve tasarımını gerçekleştirilmişlerdir. Gerçekleştirdikleri çalışmaların başarım çözümlemelerini yaparak geliştirilen aracın NS-2 ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışmaları neticesinde bu aracın ölçeklenebilirliğinin yanı sıra bellek tüketimi bakımından da avantajlarını fark etmişlerdir (Çobanoğlu et al. 2013).Kablosuz sensör ağı alanındaki ilk standartlardan biri olan WirelessHART, endüstriyel süreç otomasyonu ve kontrol gereksinimlerini karşılamak üzere piyasaya sürülmüştür. Zand P. ve diğerleri ise standart, endüstriyel izleme ve kontrol alanındaki diğer kablosuz protokolleri değerlendirmek için bir referans noktası olarak kullanılabilen bu standartı NS-2 simülatöründe uygulamışlardır.Uygulamalarının performansını ağdaki gecikme ve iletişim yükü açısından değerlendirerek bu uygulamanın, WirelessHART'ı test etmek için pahalı test yataklarına bir alternatif sunduğunu ortaya koymuşlardır(Zand et al.2012).

Hao J. ve diğerleri OPNET Tabanlı Kontrolör Alan Ağının modellemesini ve benzetimini gerçekleştirmişlerdir. Makalelerinde denetleyici alanı ağ protokolünü analiz etmek ve denetleyici alanı ağ performansını değerlendirmek ve OPNET Modeler simülasyon ortamında Kontrolör Alanı Ağı ağ modeli oluşturmak için Katmanlı modelleme yönteminin benimsenmesinin bir yolunu sunmuşlardır. Kontrolör Alan Ağı protokolünün Mantıksal Bağlantı Kontrolü ve Orta Erişim Kontrolü modelleri, hata işleme ve kanal durumu algılama işlevleri ile OPNET düğüm Katmanında kurulmuştur. Kontrolör Alan Ağı bus fiziksel katmanı modeli, OPNET iletişim hattı aşamalarında çarpışma algılama ve tahribatsız tahkim işlevselliğini uygulamak üzere tasarlanmıştır (Hao et al. 2011).

Küçük K. ve diğerleri konum bilgisi ve algılanan verilerin kablosuz algılayıcı ağlarındaki (WSN) çoğu uygulama için önemli olduğundan yola çıkarak daha önce inceledikleri SSLE yönteminin geliştirilmiş hali ve OPNET'te modellenmesi amacıyla modifiye edilmiş bir sektörel tabanlı yerelleştirme tahmini olan SSLE yöntemini sunmuşlardır. Geliştirdikleri Modifiye SSLE yöntemi, lognormal gölgeleme efektleri ile OPNET modelleyicisi kullanılarak modellenmiştir. Mevcut OPNET kablosuz modülü, standart gökdelenim modelini herhangi bir gölgelendirme gerektirmeden kullanmaktadır. Mevcut OPNET kablosuz modülü, gölgelendirme unsurları olmaksızın standart logdistance modeli kullanmaktadır. Bir kullanıcıya kablosuz ortamına göre 0 dB'den 5 dB'ye kadar gölgelendirme efektleri varyansı seçme olanağı sağlayarak lognormal gölgeleme efektlerini eklemişlerdir. OPNET üzerinde ayrıntılı olarak mevcut olan uygulama metodolojisini, düğüm ve süreç modelleri açısından sunmuşlardır. Modifiye edilmiş SSLE'nin performansı, lokalizasyon hatası ve ortalama verim açısından farklı ağ ve kanal parametreleri aracılığıyla değerlendirerek benzetim sonuçlarının, log normal gölgeleme kanalı koşullarında modifiye SSLE yönteminin % 9.5 ortalama lokalizasyon hatasıyla başarabileceğini göstermişlerdir (Kucuk et al. 2012).

Yang S. ve diğerleri yapmış oldukları makale çalışmasında IEEE 802.11p ile VANET'lerde Yönlendirme Protokolleri Üzerine OPNET tabanlı Modelleme ve Simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. IEEE 802.11 standartlarının bir uzantısı olan IEEE 802.11p, özellikle kablosuz aygıtların iletişimi için geliştirilmiştir. Yönlendirme, mobil aygıtlara paket sevkıyatında VANET'lerde çok önemli bir rol oynamaktadır. VANET'lerdeki yönlendirme protokollerinin ölçeklenebilirliğini ve verimliliğini değerlendirmek için gerçekçi mobilite modelleriyle yönlendirme protokollerini simüle etmek ise kritik bir gereksinimdir. İşte Yang S. ve arkadaşları bu çalışmada esas olarak, IEEE 802.11p ile VANET'lerde yönlendirme protokollerinin performansını ve mimarisini modellemeye odaklanmışlardır. Önce IEEE 802.11a'nın OPNET modülünü temel alan bir IEEE 802.11p modülü oluşturmuşlar daha sonra ise OPNET ve trafik verilerini üretmekten sorumlu olan OPNET IEEE 802.11p teknolojisine dayanan farklı senaryolarda protokolleri taklit etmekle görevli VanetMobiSim tarafından VANET simülasyon platformu oluşturmuşlardır. Simülasyon sonuçları ve analiz sonucunda, VANET'ler için uygun bir yönlendirme protokolü seçerken mükemmel bakış açısı sağlayabilmişlerdir (Yang et al. 2014).

Pana F. ve diğerleri çalışmalarında Hizmet Kalitesi (QoS) alanında en önemli protokollerden birini temsil eden Kaynak Rezervasyon Protokolünün (RSVP), RSVP Bundle Uzantısını OPNET Modelleyicisinde uygulamış ve değerlendirmişlerdir. Makalede araştırmacılar OPNET Modelleyicisinde farklı RSVP uzantıları

uygulamasına veya değiştirmesine yardımcı olabilecek teknik yönler sunmuşlardır (Pana and Put 2013).

Marghescu C. ve diğerleri bu makale çalışmasında OPNET kullanarak bir Kablosuz Algılayıcı Ağının Simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Makalelerinde OPNET kullanarak küçük kapsama alanı, düşük veri hızı kablosuz ağlar için bir iletişim protokolü seti tanımlayan bir standarda (IEEE 802.15.4) dayanan bir teknoloji olan ZigBee kablosuz sensör ağının performansını değerlendirmeyi amaçlamışlardır (Marghescu 2011).

Clore B. ve diğerleri özel bir IPv6 güvenlik uygulamasını OPNET Modeler ve System-in-theLoop modülünü kullanarak simüle ederek değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda simülasyonun tasarımdaki bazı kusurları saptamada etkili olduğunu ancak sonuç olarak uygulamanın geçerli olduğunu kanıtlamışlardır (Clore et al . 2012).

Kumar A. ve diğerleri çalışmalarında kablosuz ağ için farklı ağ simülatörlerinin performans karşılaştırması çalışması hakkında kısaca bir araştırma sunmuşturlar. Simülatör yeteneklerinin her birinin, iç yapısı, geliştirme ortamı ve kablosuz ağ simülasyonu için verdikleri destekler hakkındaki bilgiler bu makalede ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır. Gösterdikleri simülatörler arasında ihtiyaçları en iyi şekilde karşılamak için hangisinin en iyi seçenek olduğunu belirlemeye yardımcı olduğunu ortaya koymuşlardır (Kumar et al. 2012).

Küçük K. ve diğerleri çalışmalarında KAA olarak adlandırılan kablosuz algılayıcı ağlar için konum tahmini problemlerini ve düğüm yönetimini çözmek amacıyla sektörel tarama (ST) protokolünü, ağ benzetim araçlarından nesneye yönelik bir modüler ayrık zaman simülatörü olarak adlandırılan OMNeT++ vasıtasıyla modellenmesini ele almışlardır (Kucuk et al. 2007).

Sırma M ve diğerleri çalışmalarında benzetim programı ve hareketlilik modülü ile yapılan çalışmaları anlatarak, taşma iletişim kuralının OMNeT++ ile benzetimini gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarından yola çıkarak taşma protokolünün kablosuz haberleşme yönteminde kullanılması durumunda karşılaşılan durumlar analiz edilmiştir. Kablosuz haberleşmede mevcut olan iletişim kurallarının analizine taşma protokolü ile başlanmış bu amaç doğrultusunda oluşturulan örnek bir ağ üzerinde inceleme ile problemler için çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çalışmalarını bu kadarla kısıtlamayıp IEEE 802.11 iletişim kuralının benzetim ve analizi ile devam etmişler ve kablosuz haberleşme için, bulanık mantık ilkelerine dayalı, denetimli ve enerji kontrollü bir iletişim kuralı geliştirmeyi temel amaç olarak benimsemişlerdir (Sırma et al. 2016).

Özcerit A. T. ve diğerleri çalışmalarında Türkiye'nin mevcut internet ağ altyapısının sahip olduğu başarım analizini incelemişlerdir. Bu başarım analizini OPNET Mode1er 14.5 ile gerçekleştirmişlerdir. Modelleme esnasında ağ üzerindeki bulunan durum hakkında değerlendirme yapılarak ağ yapısının daha da geliştirilmesi amacıyla pozitif önerilerde bulunmuşlardır (Özcerit and Altunay 2014).

Soni K. ve diğerleri çalışmalarında Ağ Simülasyon Araçları Üzerine bir inceleme yapmışlardır. Simülatörlerin temel özelliklerini tanıtıp; avantaj ve dezavantajlarını detaylı olarak ele almışlardır. Çalışmalarının ağ simülatörleri kullanarak çalışma yapacak araştırmacılar için iyi bir öneri niteliğinde olduğu savunmuşlardır (Soni and Ravi 2014).

Pujeri U. R. ve diğerleri çalışmalarında Çeşitli Açık Kaynaklı Ağ Simülatörleri hakkında bir inceleme sunmuşlardır. Ağın performansı, gecikme, kanal kullanımı, paket kaybı gibi gerçek zamanlı olarak ağın performansını kontrol etmenin çok zor olduğu üzerinde durarak ağı oluşturan elemanlarının üzerinde herhangi bir yeni yönlendirme algoritması veya protokolü uygulayıp bu test yatağı ağında test etmek, maliyetin yanı sıra çok zaman gerektirdiğini belirtmişlerdir. İşte bu maliyet ve zaman sıkıntısını gidermenin simülatör yardımıyla giderileceğini vurgulayarak bir ağ araştırmacısının araştırma yapmasına yardımcı olacak uygun benzetim araçlarını seçebilmesi için farklı ağ simülatörünü sınıflandırmış ve karşılaştırmışlarıdır. Farklı açık kaynaklı simülatörlerin özelliklerini, gücünü ve zayıf yönünü tartışmışlardır (Pujeri et al. 2014).

Bu alanda yapılan diğer çalışmalarda ise kablosuz ağlar için ağ simülatörlerinin performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Makalelerde, gerçekleştirilecek olan herhangi bir uygulamanın amacına yönelik olarak optimal bir ağ simülatörü belirlemek için CPU kullanımı, bellek kullanımı, hesaplama süresi ve ölçeklenebilirlik gibi parametrelere dayalı en son teknoloji olan açık kaynaklı ağ simülatörlerini karşılaştırmışlardır (Mishra and Smita 2014; Makasiranondh et al. 2010; Khan et al. 2012; Wang and Huang 2012; Zeng et al. 1998; Mahadevan et al. 2002; Vahdat et

al. 2002; Gupta et al. 2013; Siraj et al. 2012; Köksal 2008; Alessandria 2011).

Gerçekleştirmiş olduğumuz bu çalışmada incelenen bu çalışmalarda olduğu gibi ağ simülasyonu alanında bazı temel kavramlar tanıtılmıştır. Ayrıca ağ simülasyonu ve simülatörünün temel yapısı belirtilmiştir.Ayrıca incelenen bu çalışmalardan farklı olarak birçok simülasyon işlemini gerçekleştirecek ağ benzetim modelleme araçları açıklanmış mantıksal işlem şemaları ve mimarileri belirtilmiştir.

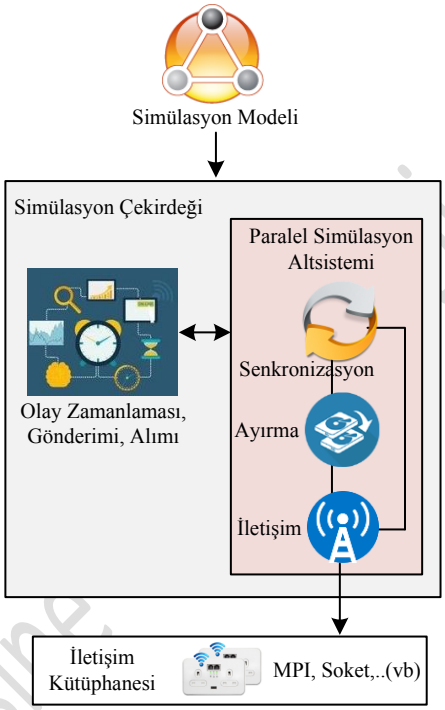
3. Ağ Benzetim Ve Modelleme Araçları

3.1 OMNeT++

OMNeT++, öncelikle yapıcı ağ simülatörleri için, genişletilebilir, modüler, bileşen tabanlı, C++ simülasyon kütüphanesine sahip bir benzeticidir. Yapı olarak ağ, kablolu ve kablosuz iletişim ağları, on-chip ağlarını içeren bir geniş yapı anlamına gelmektedir. OMNeT++, ağ modelleri için bir bileşen mimarisi sağlar. Bileşenler (modüller), C++ ile programlanır, sonra üst düzey bir dil olan (Network Description) NED yardımı ile büyük bileşenleri ve modelleri bir araya getirir. OMNeT yalnızca başlı başına bir simülatör değil, bir simülasyon çerçevesidir. Bilgisayar ağları veya diğer alanlar için açık ve kablolu desteği içeren, bu tür simülasyonlar yazmak için bir altyapı sağlamaktadır. Spesifik uygulama alanları, çeşitli simülasyon modelleri ve çerçeveleri ile açık kaynak yapısı vardır. Bu modeller, tamamen bağımsız OMNeT gelişmiş ve kendi salım döngülerini izler [3].
OMNeT++ tam kaynak kodu ile yayınlanmakta ve bu kodlar değiştirebilmektedir. Kendi lisansı (Akademik Public License) altında akademik ve eğitim kurumlarında kullanılması için ücretsizdir. Kurumsal kullanım için, ancak OMNEST ücretli lisans alarak olabilir. OMNeT++ Windows, Linux, Mac OS X ve diğer Unix benzeri sistemler üzerinde çalışır ve OMNeT ++ IDE Windows, Linux veya Mac OS X'i gerekli kılmaktadır. OMNeT ++ birçok bileşene sahiptir [26]. Bu bileşenler:

- Simülasyon çekirdek kütüphanesi
- NED topoloji tanımlama dili
- Simülasyon yürütülmesi için GUI, simülasyon çalıştırılabilir bağlantıları (Tkenv)
- Simülasyon yürütülmesi için komut satırı kullanıcı arayüzü (Cmdenv)
- Çeşitli araçlar (makefile oluşturma aracı, vs.)
- Belgeler, örnek simülasyonlar şeklinde ifade edilmektedir.

Aşağıdaki verilen Şekil-2'de OMNeT++ simülasyon aracının işleyişinden yola çıkılarak bu aracın genel mimarisi verilmiştir. Şekilde aracın simülasyon aşamasında kullandığı birçok altsistemi yer almaktadır.



Şekil 2.OMNeT ++ simülasyon aracının mimarisi

3.2 OPNET Modeler

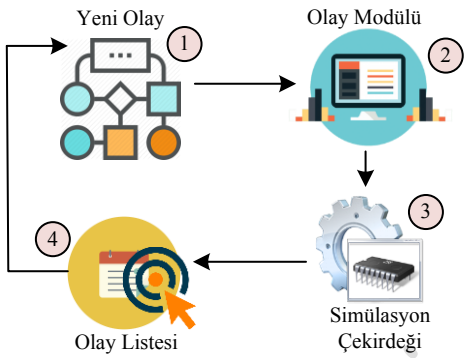
Windows, Linux ve Macintosh sistemlerini destekleyen OPNET, Optimize Mühendisliği Araçları standlarını da geliştirmiş olan, Alain Cohen, kardeşi Marc Cohen ve sınıf arkadaşı Steven Baraniuk tarafından MIT'de ağ ile ilgili bir ders için geliştirilmiş bir lisans projesidir. Daha sonra, bu üç geliştirici kazanç sağlamak için anlaştılar ve bu araç "ticari" olarak piyasaya sunuldu. Böylece şirketleri OPNET Technologies Inc., 1986 yılında kuruldu.
OPNET yazılım şirketi, özellikle İngiltere, Fransa, Almanya, Singapur ABD'nin birçok yerinde ve dünya çapında ofisleri ile yaklaşık 600 çalışanı vardır. OPNET yazılımı, ağ bileşeni arayüzü, belirli bir ağ bileşeni, bir proje çerçevesi oluşturmak; davranış soyutlama süreci modeli belirlemek için, bir düğüm modeli protokolleri tanımlayan bir paket formatı da dahil olmak üzere pek çok özellik ve toolsets'e sahip olan bir ağ simülasyon aracıdır. Ağ ve çeşitli bağlantıları, yakalamak ve / veya ağ simülasyon sonuçlarını göstermek için güçlü bir simülasyon penceresi topoloji tanımlayan bir benzetim aracıdır (Soni and Ravi 2014).
OPNET Modeler, OPNET Technologies tarafından yayımlanan ilk yazılım ürünü olmuştur. Bu ağ yazılımı sayesinde, Ar-Ge süreci kolay analiz edilebilmekte ve iletişim ağları, uygulama,

protokolleri ve cihazların tasarımının gerçekleştirilmesi hızlanır. OPNET Modeler herhangi bir ağ tipi ve VOIP, MPLS, IPv6 ve TCP gibi çeşitli diğer teknolojileri modellemek için imkân veren bir geliştirme ortamı vardır. Bu ağ yazılımı, 32-bit veya 64-bit platformları ile uyumlu olarak; kütüphaneler, dış nesne dosyalarına ve diğer ağ simülatörleri kolay entegrasyon için açık bir arayüze sahip olarak göze çarpmaktadır [7].

OPNET ağ performans yönetimi, uygulama performans yönetimi ve ağ Ar-Ge için çeşitli ağ çözümleri sunmaktadır. Bu çözümler zaten operasyonel olarak kanıtlanmış ve dünya çapında devlet kurumları, ağ hizmeti sağlayıcıları ve ekipmanları gibi çeşitli şirketler ve kuruluşlar tarafından da test edilmiştir.Modelleme, simülasyon ve analiz olmak üzere OPNET'in doğal üç temel işlevi vardır. Modelleme için, protokollerin modelleri her türlü oluşturmak için sezgisel bir grafik ortamı sağlamaktadır. Simülasyon için, 3 farklı gelişmiş simülasyon teknolojileri kullanmaktadır ve çalışmaların geniş bir yelpazede ele alınması için de kullanılabilmektedir. Analiz için, simülasyon sonuçlar, bunun sonucunda elde edilen veriler analiz edilir ve kolayca görüntülenebilir. Kullanıcı dostu grafikler, istatistik ve hatta animasyonlar kullanıcının rahatlığı için OPNET tarafından detaylıca geliştirilmiştir. OPNET'in teknik incelemeleri sonucunda ayrıntılı özellikleri bakımından şunlara sahip olduğu görülmüştür (Mishra and Smita 2014).

1. Hızlı ayrık olay simülasyon motoru
2. Çok kaynak koda sahip bileşen kütüphanesi
3. Nesne yönelimli modelleme
4. Hiyerarşik modelleme ortamı
5. Ölçeklenebilir kablosuz simülasyon desteği
6. 32-bit ve 64-bit grafik kullanıcı arayüzü
7. Özelleştirilebilir kablosuz modelleme
8. Ayrık Olay, Karma ve Analitik simülasyon
9. 32-bit ve 64-bit paralel simülasyon çekirdeği
10. Izgara bilgisayar desteği
11. GUI tabanlı hata ayıklama ve analiz
12. Açık arabirimi ile dış bileşen kütüphaneleri entegrasyonu.

Aşağıda gösterilen Şekil-3'de Opnet Modeler aracının genel mimarisi verilerek simülasyon yapısı belirtilmiştir. Şekil ile bu aracın modüler yapısı ele alınmıştır.



Şekil 3.OPNET simülasyon aracının mimarisi

1.Durum: Yeni olay, olay listesi başlığına ulaşır; Simülasyon

2.Durum: Çekirdeğinin ilgili modüle bir kesme göndermesine neden olur.Modül içindeki süreç, kazanç kontrol ve süreç kesintisi

3.Durum: Simülasyon Çekirdek, modülden kontrolü ele geçirir.

4.Durum: Simülasyon çekirdeği olayı olay listesinden siler ve yeni etkinliğin listenin başına ulaşmasını sağlar

3.3 GNS3

Macintosh, Windows ve Linux platformlarını destekleyen GNS3, karmaşık ağların simülasyonuna izin veren bir grafik ağ emülatörüdür. VMWare veya sanal ortamda çeşitli işletim sistemlerini simüle etmek için kullanılan Virtual PC ile entegre olabilir. GNS3 de diğer ağ sanallaştırma ve simülasyon araçları gibi araştırmacıların gerçek dünya ağ yapılandırma senaryolarını test etmelerini ve yönlendiricilerin ve anahtarların sanal ekipmanlarını her birinin sanal konsolu aracılığıyla yapılandırarak karmaşık ağ senaryolarını yapılandırmasına olanak tanır. GNS3'teki gelişmiş ağ konularının konfigürasyonu, araştırmacıların tüm ağ cihazlarında basit ve çok tekrarlayan IP yapılandırma görevlerini uygulamak zorunda kalmasını gerektirir (Makasiranondh et al.2010).

GNS3 daha açık bir ifadeyle karmaşık ağların benzetimini sağlayan bir Grafik Şebeke emülatörüdür. Sanal ortamda çeşitli işletim sistemlerini simüle etmek için kullanılan VMWare veya Sanal PC' gibi GNS3 de Cisco Internetwork İşletim Sistemlerini kullanılarak aynı türden emülasyonu gerçekleştirebilmektedir. GNS3, Dynagen adı verilen bir ürüne grafiksel bir ön uç olarak görev yapmaktadır. Dynamips ise, IOS emülasyonuna izin veren temel programdır. Dynagen, Dynamips'e göre daha fazla kullanıcı dostutur ve metin tabanlı bir ortam oluşturmak için Dynamips'in üstünde çalışır. Bir kullanıcı Dynagen'in Dynamips'in üzerinde çalıştığı basit

Akademik Bilişim'e GÖNDERİLDİ

Windows ini tipi dosyaları kullanarak ağ topolojileri oluşturabilir. GNS3 ise bu noktada grafik ortamı sağlayarak bunu bir adım daha ileri götürmektedir [29]. GNS3, Windows veya Linux tabanlı işletim sistemlerinde Cisco IOS'ların benzetimini sağlar.

GNS3 Windows veya Linux tabanlı bir bilgisayarda kaybedilen bir benzetime izin verir. Emülasyon yönlendirici platformları ve PIX güvenlik duvarları uzun bir liste için mümkündür. Anahtarlama, bir yönlendirici bir EtherSwitch kartı kullanma platformlar da kartın desteklenen işlevsellik derecesine benzetilmiş olabilir. Bu GNS3 gibi CCNA ve CCNP Cisco sertifikalar için hazırlamak için paha biçilmez bir araç olduğu anlamına gelmektedir. Piyasada birçok yönlendirici emülatör ve simülatörleri vardır, ancak bunlar geliştiricinin dahil olarak seçtiği komutlar ile sınırlıdır. Hemen hemen her zaman bir uygulama laboratuarında çalışırken desteklenmeyen komutlar veya parametreler vardır. Buna ek olarak, GNS3 açık kaynak kodlu olarak kullanmak için ücretsiz bir programdır. Ayrıca, GNS3 sanal ortamda ikinci verim başına yaklaşık 1.000 adet paketleri sağlayacaktır. Normal bir yönlendiriciden yüz bin kat daha verim sağlayacaktır. GNS3'de gerçek yönlendirici yer almaz, ancak bir laboratuar ortamında öğrenme ve test etmek için bir araç olarak kullanılması gerekiyorsa GNS3 kullanımı uygun olarak düşünülebilir (Makasiranondh et al.2010).

3.4 Cisco Packet Tracer

Cisco firması tarafından geliştirilmiş olan Packet Tracer adlı simülasyon programı, hiçbir fiziki makine ya da araç kullanmadan Cisco marka ağ cihazlarının uygulamalarının ve ağ tasarımının yapılmasına olanak sağlayan network benzetim aracıdır. Cisco Packet Tracer Dennis Frezzo ve Cisco Systems ekibi tarafından geliştirilen bir simülasyon aracıdır. Packet Tracer (PT) Real Time veya Simülasyon modunda kullanılan çeşitli protokolleri görüntüleyen güçlü ve dinamik bir araçtır. Ağ topolojileri oluşturmasına ve ardından ilişkili cihazları yapılandırmasına olanak tanıyan Packet Tracer, genel olarak network cihazlarını telnet ya da ssh ile konfigüre edildiklerinden dolayı Cisco' nun sertifika sınavlarına hazırlık yapılması aşamasında iyi bir öğrenme ortamı sağlamaktadır. Packet Tracer yazılımı, araştırmacıların sadece yönlendirici ve anahtarlar gibi farklı cihaz türlerine değil aynı zamanda belirli cihaz modellerine de dayalı bir ağ tasarımı yapmalarını sağlamaktadır(Makasiranondh et al.2010).

Kullanıcıların, ağ topolojileri oluşturmak aygıtları yapılandırmak, paketleri enjekte ve birden çok görsel temsiller ağı elde etmenizi sağlayan bu araç aşağıdaki özellikleri de taşımaktadır.

- Gerçek zamanlı ve Simülasyon Modu
- Mantıksal topoloji ve Fiziksel Modları
- "Olay Görüntüleyicisi denilen Küresel Packet Sniffer
- RIP v1, RIP v2, EIGRP, ICMP, ARP, CDP, DHCP, NAT, IP
- Ethernet, VLAN, 8021q, Inter-VLAN Yönlendirme, Frame Relay, PPP, HDLC [29].

3.5 GTNetS

Linux, OSX, Solaris ve Windows platformlarını destekleyen Georgia Tech Network Simulator (GTNetS), bilgisayar ağlarında araştırmacılar çeşitli koşullar altında, büyük ölçekli ağlar orta davranışını incelemek için izin veren bir tam özellikli bir ağ simülasyon ortamıdır. GTNetS tasarım felsefesi, gerçek ağlar tarafından yapılandırılmış gibi gerçekleştirilebilecek bir simülasyon ortamı oluşturmaktır. Örneğin, GTNetS, protokol kümesi katmanının açık ve belirgin bir ayrımı vardır.

GTNetS içindeki paketleri aşağı ve protokol yığınının yukarı hareket ederken paket eklenmiş ve kaldırılır hali protokol veri birimi (PDU) listesinden oluşur. Ağ düğümlerini temsil eden Simülasyon nesneleri ilgili bir IP adresini ve ilişkili bir bağlantı olabilir, her biri, bir ya da daha fazla arabirime sahiptir. GTNetS katman 4 protokol nesnelerini gerçek ağ protokolleri alanlarına bağlanarak hemen hemen aynı bir şekilde gerçekleştirmeye yarar. Transport katmanında yer alan protokol nesneleri arasındaki bağlantıları bir kaynak IP, kaynak portu, hedef IP, sadece gerçek TCP bağlantıları gibi hedef port tuple kullanılarak elde edebilmektedir. Uygulamalar ve aktarım protokolleri arasındaki arayüz yapılarını oluşturmak için bilindik bağlantıları kullanır.

GTNetS uygulamaları bir veya daha fazla ilişkili protokol nesneleri olabilir ve uygulamalar arasında (gerçek veri içerikleri dahil) veri akışını simüle edilebilir. Aşağıda GTNets simülatörün özelliklerinden bir kısmı verilmiştir.

- Bağlantı Yönelik Uygulamalar. FTP modelleri ve web tarama modelleri içeren bir istemci / sunucu ortamında TCP tabanlı uygulamaların, büyük bir çeşidini destekler.
- Bağlantısız Uygulamaları. Açma-Kapama veri kaynakları ve sabit bit hızı kaynaklarına dahil UPD tabanlı bağlantısız uygulamaları toplamak için kullanılabilir.
- TCP. Modeller Tahoe, Reno, NewReno ve ÇUVAL. Her TCP modeli dizisi ve bildirim sayılar

Akademik Bilişim Dergisine GÖNDERİLDİ

hem de zaman araziler vs dizisinin ayrıntılı günlüğü destekler.
- Yönlendirme. Yönlendirmeler isteğe NIxVector yaklaşımını kullanarak, ya da manuel olarak simülasyon kullanıcı tarafından, statik olarak hesaplanabilir.
- Düğüm Hareketlilik. Rastgele yol noktası ve spesifik noktası modelleri her ikisini de kullanarak düğüm hareketliliğini destekler.
- Rasgele Sayı Üreteci. Üstel, Pareto, üniforma, normal ampirik sabit ve sıralı olmak üzere rastgele sayı üreteçleri, çeşitli modelleri içerir.
- Paket İzleme. Simülasyon yoluyla paketlerin izleme üzerinde çok ince taneli kontrolü destekler. İzleme etkin veya düğümün, protokoller veya belirli protokol bitiş noktaları ile devre dışı bırakılabilir. Ayrıca, her protokol başlığı bireysel veri öğeleri seçici etkin veya günlüğe kaydedilmesini devre dışı bırakılabilir.
- Katman 3 Protokoller. IP sürüm 4 destekler.
- Katman 2 Protokoller. Hem IEEE 802.3 ve IEEE 802.11 protokolleri destekler.
- Linkler. Point-to-Point, Paylaşılan Ethernet, Ethernet ve kablosuz bağlantılar Anahtarlamalı destekler.
- Kuyruk. Açılan kuyruk, Random Early Detection (RED), ve Infinitessimal pertürbasyon Analizi (IPA) kuyruk yöntemleri destekler.
- İstatistik toplama. Histogramlar ve kümülatif dağılım fonksiyonları kullanarak veri toplama destekler.
- Animasyon. Seçici sağlayan ve belirtilen düğümler ve bağlantılar için ekranın devre dışı bırakılması ile, simülasyon topoloji grafik görüntüleme destekler.
- Stok Topoloji nesneler. Star, Tree, dumbbell ve Izgara dahil topoloji nesil için stok nesneleri, bir dizi destekler.
- Simülasyonlar dağıtılmaktadır. Gevşek iş istasyonları, paylaşılan bellek simetrik çoklu işlem sisteminin bir ağ veya her ikisinin kombinasyonu ya tek bir simülasyon topoloji dağıtımını destekler.
- Simülasyon İstatistikleri. İstatistikleri toplar ve raporlar olayların sayısı, üretilen toplam paket, toplam yürütme zamanı da dahil olmak üzere simülatörü kendisi, performansı ile ilgili istatistiklerin çok sayıda ele alır.

3.6 SSF-Net

Linux, OSX, Solaris ve Windows platformlarını destekleyen Georgia Tech Network Simulator (GTNetS), bilgisayarSSFNet (Ölçeklenebilir Simülasyon Çerçevesi Ağ Modeller) de ve detay IP paket seviyesinden modelleme ve internet protokolleri ve ağlar simülasyonu için Java SSF tabanlı bileşenler topluluğudur. Link katmanı ve fiziksel katman modelleme için ayrı bileşenler olarak sağlanabilir.

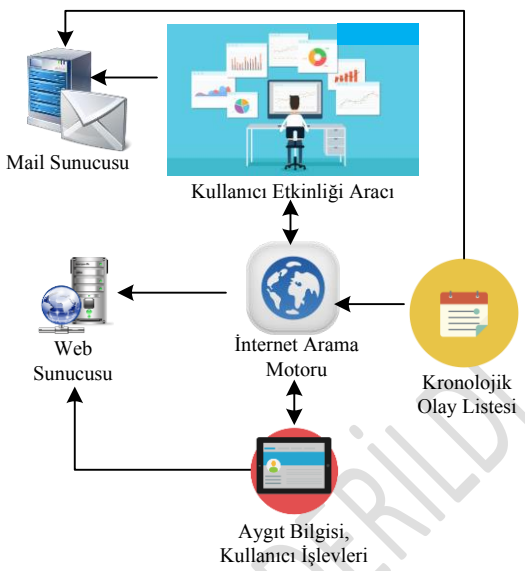
SSFNet, İnternet protokollerinin ve ağlarının modelleme ve simülasyonunda, IP paket seviyesinin üstünde olan bileşenleri sağlamaktadır. SSFNet, simüle edilmiş ağların boyutunu sınırlayabilen tek bir makinede çalışır ve simüle etmek için gereken bellek miktarı çok büyük olabilir, ancak Dartmouth College SSFNet'in DaSSF [Web1] adlı bir sürümünü geliştirmiştir. DaSSF, işlemci tabanlı, eşzamanlı paralel simülatör kullanılarak tasarlanmıştır. DaSSF, tüm işlemciler arasında paylaşılan bellek kullanarak paralel simülasyonu destekler. DaSSF çeşitli platformlarda çalışır ve işlemciler arasında iletişim kurmak ve senkronize etmek için mesajlar kullanır. DaSSFNet, ns ve diğer tekli-makine simülatörlerinin performansına (hız ve bellek tüketimi) kıyasla çok daha iyi sonuçlar elde etmektedir. SSFNet, tasarım yönlerinin ön planında ölçeklenebilirlik konularında Java ile yazılmıştır. Özellikle, modelleme ölçeklenebilirliğini veya Simülatörün işleyebildiği düğüm sayısı, trafik kalıpları, bant genişliği vb. Ve performans ölçeklenebilirliği veya simülatörün çalıştırabileceği işlemci sayısını artırmak için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. SSFNet'in güncel dağılımları, işletim sistemlerini modellemek için kullanılan iki şekli olan SSF, SSF.OS ve ağları taklit etmek için kullanılan SSF.Net'i içerir. Ayrıca, ortak internet protokolleri için kütüphaneler de bulunmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi, DaSSFNet, SSFNet'in dağıtılmış bir versiyonudur. DaSSFNet, SSFNet ile tamamen uyumludur, bu da SSFNet için geliştirilen tüm paketlerin DaSSFNet ile birlikte kullanılabileceği anlamına gelmektedir. DaSSFNet başlangıçta SSFNet'in bir C ++ portu olarak tasarlanmıştır, ancak günümüzde paylaşımlı bellek işlemcileri ve dağıtılan bellek kümeleri için izin verilen SSF simülatörünün yeniden düzenlenmesi yoluyla dağıtılan sisteme dönüşmüştür. SSFNet (dolayısıyla DaSSFNet) ağları bir DML (Domain Modeling Language) yapısındadır. DML, kullanıcıların hiyerarşik bir yöntem kullanarak çok büyük çok protokollü ağları yapılandırmasına olanak tanımaktadır. Bir DML, tanımlanmış anahtarları kullanarak ağ tanımlayan beyaz boşluklarla sınırlandırılmış anahtar / değer çiftlerinden oluşur. Anahtarlar, SSFNet ve mevcut çerçeveye içe aktarılan sınıflar tarafından tanımlanır.Sınıflar son kullanıcılar tarafından

Ku-Mühendislik Dergisine Gönderildi

geliştirilebilir, ancak ağ solucanları simülatörlerinden internet protokollerine ve sunucularına kadar çok sayıda sınıf mevcuttur. SSFNet, çoklu işlemci makinelerinin bir ağ simüle etmesine izin vermektedir. Böylece birden çok işlemci kullanmak performansı önemli ölçüde artırır. SSFNet, olayları sipariş etmek için birden çok kuyruk kullanan işlemcileri düzenler.
SSF sıraların sırayla yürütülmesini sağlamak için paralel çalışan birden fazla iş parçacığı kullanmaktadır. SSFNet tüm ayrıntıları modelleyiciden gizlemektedir. Bu modelleyiciler SSFNet'e, DML dosyasındaki hizalama özelliğini kullanarak ağın işlemciler arasında nasıl bölündüğünü söylemektedir (Shea).

3.7 Boson NetSim

Boson Router Simulator içeren Boson NETSIM Network Simulator, işlevsellik ve özellikleri bakımından piyasadaki tüm simülasyon araçlarına kıyasla benzersizdir. Tescilli Ağ Simülatörü olan Boson NETSIM, Router Simulator kullanır ve Boson Sanal Paket Teknoloji motoru ile birlikte EROUTER yazılım teknolojileri, bireysel paketleri oluşturmak için kullanılmaktadır. NETSIM tarafından uygun sanal yönlendirme tablosunu oluşturularak bu paketler yönlendirir ve simüle edilen ağ üzerinden değiştirilir. Böylece gerçek ağ simülasyonu sağlanmış olur. Piyasadaki diğer simülasyon ürünlerini sahip olduğu işlevsellik Netsim'de olduğu gibi bu düzeyde değildir. NETSIM 2500 serisi, 2600 serisi, 2800 serisi ve 3600 serisi yönlendiricilerin yanı sıra Cisco Catalyst 1900 serisi, 2900 serisi ve 3500 serisi anahtarları da dahil olmak üzere Cisco yönlendiricisine sahip, geniş bir yelpazede simülasyon sağlayan Windows tabanlı bir üründür. NETSIM, RIP, IGRP, EIGRP, BGP, OSPF de dahil olmak üzere çoklu yönlendirme protokollerini desteklemektedir. Ayrıca PPP / CHAP, ISDN ve Frame Relay gibi farklı LAN / WAN protokollerine destekleyen NetSim, herhangi bir harici yönlendirici veya anahtar donanım erişimi gerektirmez sadece cihazları ve işlevselliği gerektirmektedir. IOS fiziksel yönlendirici veya anahtar üzerindeki mevcut komutların birçoğunu da NETSIM desteklemektedir. Cisco CCNA, CCNA, CCNP gibi sertifikalara sahip olmak isteyenler için uygun bir çalışma ortamı sağlamaktadır (Soni and Ravi 2014).



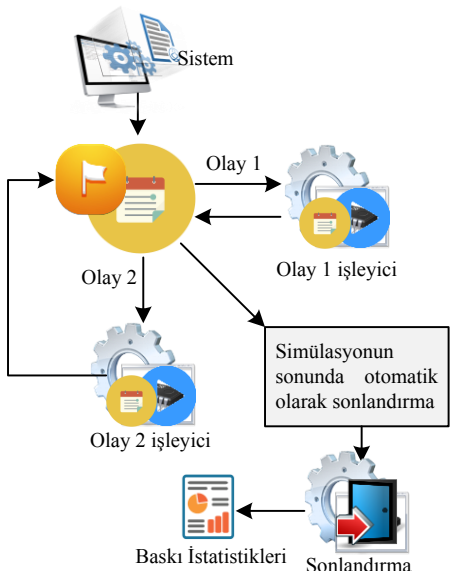
Şekil 4.NETSIM simülasyon aracının mimarisi

Yukarıda verilmiş olan Şekil-4'de NETSIM simülasyon aracının mimarisi verilmiştir. Şekil ayrıca aracın kullanmış olduğu alt müdüller hakkında genel bir bilgi içermektedir.

3.8 QualNet

Boson QualNet kablosuz, kablolu ve karışık platform ağ ve cihaz performansını ağ tahmin ultra yüksek sadakat ağ değerlendirme yazılımıdır. Çok çekirdekli 64 bit işlemcilerin çoklu iş parçacığı yetenekleri tam olarak yararlanmak için tasarlanan QualNet ağ düğümlerinin binlerce simülasyonunu desteklemektedir. QualNet taşınabilirlik ve arayüz esnekliği özellikleri bakımından eşsiz bir platform imkanı sunmaktadır. QualNet sıralı ve paralel Unix, Windows, Mac OS X ve Linux işletim sistemleri üzerinde çalışabilmektedir ve aynı zamanda modelleme / simülasyon uygulamaları ve canlı ağları ile sorunsuz bağlantı için tasarlanmıştır. Bu yazılım temel özelliklerinin yanında ücretli olarak ayrıca satın alınabilir çeşitli kütüphaneleri ile birlikte kullanıma imkan vermektedir. QualNet Senaryo Tasarımcısı kullanıcıların coğrafi dağılımını, fiziksel bağlantıları ve ağ düğümlerinin fonksiyonel parametrelerini ayarlamak için izin veren bir örnek kurulum aracıdır. Sezgisel tıklama ve sürükle işlemleri kullanılarak, kullanıcı da her düğüme ağ katmanı protokolleri ve trafik özelliklerini tanımlanabilmektedir. Şekil-5'de ise bu aracın mimarisi gösterilmiştir. Şekille aracın olay yapısı belirtilmiştir.

AKÜ Mühendislik Dergisine GÖNDERİLDİ

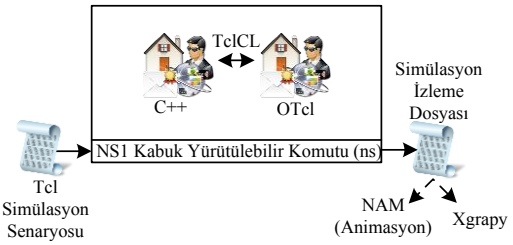


Şekil 5.QUALNET simülasyon aracının mimarisi

QualNet 3D Görüntüleyici ağ simülasyonları zengin animasyonlar için QT tabanlı bir araçtır. QualNet kullanıcıları Senaryo Designer QualNet senaryoları kurmak ve daha sonra animasyon oluşturmak için 3D görüntüleyicinin simülasyonunu gönderebilmektedir. QualNet Analyzer ölçümleri yüzlerce görüntüleyen istatistiksel grafik aracıdır. Kullanıcılar önceden tasarlanmış raporları görmek veya kendi istatistikleri ile grafikleri özelleştirmek için seçebilmektedir. Gerçek zamanlı istatistikler de bir simülasyon çalışırken onlar üretilen olarak kullanıcıların ölçümlerini görüntüleyebilecekleri bir seçenek vardır. Multiexperiment raporlar da mevcuttur. QualNet Packet Tracer yukarı ve ağ yığını iner gibi paketin içeriğini görüntülemek için bir paket düzeyinde görselleştirme aracıdır (Soni and Ravi 2014).

3.9 NS (1-2-3)

Ns-1: olarak bilinen Ns yapısının, ilk sürümü Steve McCanne Sally Floyd, Kevin Fall, ve diğer katılımcılar tarafından 1995-1997 zaman diliminde Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarında (LBNL) geliştirildi. Bu LBNL Network Simulator olarak bilinen ve S. Keshav tarafından REAL olarak bilinen simülatör de bu ekip tarafından üretilmiştir. Simülatörün çekirdek simülasyon senaryoları, Tcl tabanlı komut dosyası ile, C ++ yardımıyla yazılmıştır. Uzun süren katkıları sayesinde Sun Microsystems, UC Berkeley Daedelus ve Carnegie Mellon kullanıldığı projeler de gelişiminin devamını getirmiştir. Şekil-6'da ise temel NS mimarisi gösterilmiş ve simülasyon senaryosu belirtilmiştir(Khan et al.2013).



Şekil 6. Temel NS mimarisi

NS-2: Ns-2 1995 yılında VINT (Virtual Inter Network Testbed) projesinin altında Berkeley Kaliforniya Üniversitesi, Güney California Bilişim Bilimleri Enstitüsü, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuarı ve Xerox Palo Alto Araştırma Merkezi insanlarının ortak çalışmasıyla geliştirilmiştir. Bu sümülasyon projesinin ana sponsorları Defense Advanced Research Projects Agency ve National Science Foundation'dur. Ns-2 Steve McCanne tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Ns-2 çekirdek de C ++ ile yazılmıştır, ancak C ++ simülasyon nesneleri OTcl nesneleri ile yapı olarak bağlantılıdır. Bu aracın simülasyon sağlayan komut dosyalarının yapısını oluşturan OTcl dili, Tcl betik dili bir uzantısı ile yazılmaktadır. GNU / Linux, FreeBSD, Solaris, Mac OS X ve Cygwin destekleyen Windows sürümlerinde çalışır. GNU Genel Kamu Lisansı sürüm 2 altında kullanım için lisanslanmıştır.
Halen, 300.000 satır kaynak kodu hatlarından oluşan Ns-2 ,TCP yönlendirme ve çok noktaya yayın sağlayan protokollerinin tüm ağlardan (kablolu ve kablosuz) daha canlı olması için koruma sağlamaktadır (Niar and Haffaf 2012).

NS-3: Tom Henderson, George Riley, Sally Floyd ve Sumit Roy liderliğindeki bir ekip tarafından uygulanan ve Ns-3 olarak adlandırılan bu araç, Ns-2'ye bir yedek oluşturmak için ABD Ulusal Bilim Vakfı (NSF) tarafından fon almıştır. Bu geliştirme ekibi yazılım olarak, Mathieu Lacage ile, Sophia Antipolis de INRIA Planete projesi ile işbirliği yaparak yeni bir açık kaynak projesi kurmuşlardır. Ns-3 geliştirme sürecinde, tamamen ns-2 ile geriye dönük uyumluluk özelliğinden vazgeçilmeye karar verildi. Böylece bu yeni simülatör C ++ programlama dilini kullanarak, sıfırdan yazılmıştır. Ns-3'ün yapısal gelişimine Gustavo Carneiro tarafından katkıda bulunulmuştur. Temmuz 2006 tarihinde başlanarak Python bağlamaları (pybindgen) ve WAF yapı sisteminin kullanımı üretmek için bir çerçeve oluşturulmaya başlanıldı (Soni and Ravi 2014).

İlk sürüm olan, Ns-3.1 2008 yılı Haziran ayında yapıldı ve daha sonra proje üç aylık yazılım

Ön Yüklenmiş Dergisi

sürümleri ile devam etti. Son zamanlarda yılda üç defa yeni versiyonları üretilerek piyasaya taşındı. Ns-3 Eylül 2014 yılında Ns-3.21 olmuştur. Günümüzde ise üç sürümü de mevcut durumdadır:

•Ns-1 artık geliştirilmemektedir.

•Ns-2 aktif olarak bakımı yapılmaz ve dergi yayınlarında kabulü henüz başlamamıştır.

•Ns-3 geliştirilmeye devam edilmektedir.

Bu Ns-3 mimarisinde bir simülasyon oluşturma genel süreç birkaç adımda ayrılabilir:

1. Topoloji tanımı: Ns-3 bu süreci kolaylaştıran konteynerlerin ve yardımcıları bir sistemi vardır, temel tesislerin kurulmasını kolaylaştırmak ve onların ilişkileri tanımlamak için kullanılır.

2. Model geliştirme: Modeller simülasyonu (örneğin, UDP, IPv4, noktadan-noktaya cihazları ve bağlantılar uygulamalar) ilave edilir; Bu çoğu zaman yardımcıları kullanılarak yapılır.

3. Düğüm ve bağlantı konfigürasyonu: Modeller varsayılan değerlerini ayarlamak (örneğin, bir noktadan-noktaya bağlantı bir uygulama veya MTU tarafından gönderilen paketlerin büyüklüğü); Bu çoğu zaman öznitelik sistemi kullanılarak yapılır.

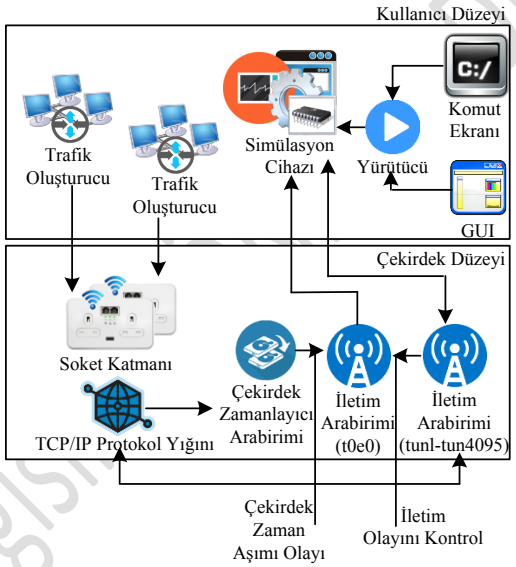
4. Yürütme: Simülasyon tesisleri olaylar, kullanıcı tarafından istenen veri kaydedilir ve oluşturur.

5. Performans analizi: Simülasyon bittikten sonra veri zaman damgalı olay izi olarak mevcuttur. Bu veriler daha sonra istatistiksel sonuçlara varmak için R gibi araçlarla analiz edilebilir.

6. Grafik Görselleştirme: Bir simülasyonda toplanan ham veya işlenmiş veriler, Gnuplot, Matplotlib veya XGRAPH gibi araçlar kullanılarak grafikle oluşturulmaktadır (Pujeri et al.2014).

3.10NCTUns

NCTUns benzetim aracı teleinformatic ağlar için genişletilebilir bir ağ simülatörü ve emülatörüdür. NCTUns doğrudan gerçek hayatta elde edilebilecek simülasyon sonuçlarını üretmek için Linux'un TCP / IP protokol yığını kullanmaktadır. NCTUns, uzak ve eş zamanlı simülasyonları desteklemek için dağıtılmış bir mimari kullanır. Bu özellik, protokol modüllerinin simülatöre eklenmesini sağlamak için açık sistem mimarisi kullanır. Bu görev, GUI işletim ortamı aracılığıyla yalnızca birkaç fare tıklamasıyla kolayca yapılabilir.NCTUns simülasyon motoru, küçük bir işletim sistemi gibi çalışan kullanıcı düzeyinde bir programdır. Tanımlanmış bir API vasıtasıyla protokol modüllerine (daha sonra açıklanacak) temel simülasyon hizmetleri sağlamaktadır. Bu hizmetler, sanal saat bakımı, zamanlayıcı yönetimi, etkinlik zamanlaması, değişken kayıtlar, vs. içermektedir. Benzetim motorunun, 'simülasyon sunucusu' olarak adlandırılan tek bir kullanıcı düzeyinde program oluşturmak için çeşitli protokol modülleri ile derlenmesi gerekmektedir. Bir simülasyon sunucusu, bir simülasyon iş tanımlama dosyası takımını girdi olarak alır, simülasyonu çalıştırır ve veri ve paket aktarım günlük dosyaları oluşturur. Bir simülasyon sunucusu çalışırken, çok sayıda çekirdek kaynağı kullanır. Aşağıda verilen Şekil-7'de bu aracın mimarisi gösterilmiştir. Şekil temel olarak kullanıcı ve çekürdek düzeyindeki simülasyon yapısını vermiştir.



Şekil 7.NCTUns simülasyon aracının mimarisi

NCTUns çeşitli protokol modüllerini desteklemektedir. Bir protokol modülü, bir protokol yığınının bir katmanını uygulamaktadır (örneğin, ARP protokolü veya bir FIFO kuyruğu). Bir protokol modülü bir dizi işlevden oluşmaktadır. Simülasyon sunucusu oluşturmak için simülasyon motoruyla derlenmelidir. Simülasyon sunucusu içerisinde, bir protokol yığınını oluşturmak için çoklu protokol modülleri zincirlenebilir. NCTUns simülasyon iş göndericisi, çoklu simülasyon makinelerinde eşzamanlı simülasyonları destekleyen bir kullanıcı düzeyi programıdır (Wang and Huang 2012).

3.11JSIM

JSIM, java tabanlı ücretsiz bir simülatör aracıdır. J-Sim bileşen temelli yazılım mimarisi olan Özerk Bileşen Mimarisi tabanlı bir uygulama modelleme ortamıdır. Bir ağdaki düğümün genel yapısını, ağ bileşenlerini ve çeşitli sınıflar arasında protokolü uygulamak için temel sınıfları tanımlayan J-Sim, platform bağımsız, genişletilebilir ve tekrar kullanılabilir olarak JavaTM'de geliştirilmiştir [24]. J-Sim, Jacl olarak adlandırılan (Tcl / Java uzantılı) Tcl yorumlayıcısının bir Java uygulamasıyla Perl, Tcl

veya Python. J-Sim gibi her seçenek komut dilini takiben entegrasyona onay vermeye yönelik bir komut dosyası arabirimi sağlar. J-Sim, sınıfların Java'da (ns-2 için C ++'da) yazıldığı ve Tcl / Java kullanılmasıyla NS-2'ye benzemektedir. Ancak Ns-2'den farklı olarak, Java'da gösterilen sınıflar / yöntemler / alanlar, Tcl ayarında erişilebilmesi için açıkça verilmelidir [25]. J-Sim, Internetworking Simulation Platform (INET) olarak adlandırılan bir platformu içerir. JSim, Tcl, Perl veya Python komut dosyası dillerini desteklemek üzere tasarlanmıştır, ancak mevcut uygulama Tcl'yi temel almaktadır. Genel modellenmeyi mümkün kılan bir bileşen tabanlı mimari ve modelleri XML dosyalarında saklayabilir. J-Sim, gerçek zamanlı süreç odaklı bir simülatördür, başka bir deyişle, bir olay gerçek zamanlı olarak değil, gerçek zamanlı yürütülmesi anlamında ayrık olay simülasyonunda gerçek bir sistemin yaptığı gibi çalışır (Wang and Huang 2012).

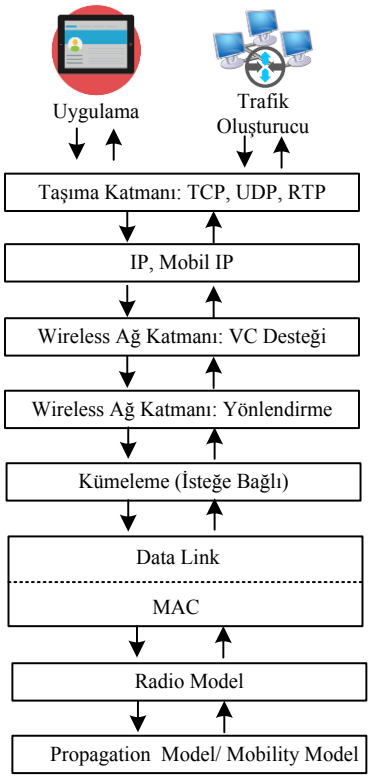
3.12 VIRL

Cisco Virtual Internet Routing Lab (VIRL) fiziksel donanıma gerek kalmadan ağ simülasyonları oluşturmak ve çalıştırmak için geliştirilen bir yazılım aracıdır. Ölçeklenebilir, genişletilebilir bir ağ tasarımı ve simülasyon ortamı sunan VIRL, yerleşik hypervisor'da IOSv, IOSvL2, IOS XRv, NX-OSv, CSR1000v ve ASAv yazılım görüntülerini çalıştıran OpenStack tabanlı bir benzetim platformudur. VIRL ayrıca Juniper, Palo Alto Networks, Fortinet, F5 BigIP, Extreme Networks, Arista, Alcatel, Citrix ve benzeri üçüncü parti satıcı sanal makineleri ile entegre etme konusunda geniş bir yeteneğe sahiptir. VIRL, Personal Edition ve Academic Edition olmak üzere iki farklı sürümden oluşur. Her ikisi de Akademik Sürümün daha ucuz olması dışında aynı özelliklere sahiptir. Bireysel kullanıcılar için tasarlan VİRL'in Academic Edition maliyeti yıllık 79.99 USD ve Personal Edition'ın maliyeti yılda 199.99 USD'dir. VIRL'in bir seferde 20 Cisco düğümü simüle etmek için bir lisans sınırı vardır. En fazla 30 Cisco düğümüne yükseltmek için fazladan 100 USD ödenmesi gerekmektedir. Akademik Basımı satın almaya hak kazanabilmek için, herhangi bir kamu ya da özel K-12 kurumu ya da Yüksek Öğrenim kurumunun fakülte, personel ve öğrencisi olmak gerekmektedir. Ayrıca derinlemesine dokümantasyon, eğitim ve daha fazlasını isteyen kurumsal kullanıcılar için VIRL'in kurumsal bir versiyonu olan ve maliyeti daha fazla olan Cisco Modeling Labs (CML) da mevcuttur. VIRL, fiziksel yönlendiricilerde çalışanlarınkiyle aynı yasal ve lisanslı Cisco IOS görüntülerinin eksiksiz bir setiyle birlikte gelmektedir ve yeni Cisco IOS bültenleri düzenli olarak sağlanmaktadır. VIRL için minimum donanım gereksinimi, 4 çekirdekli işelmci, 8GB RAM ve 70 GB boş disk alanı bulunan Intel tabanlı bir bilgisayardır. Cisco, 20 düğüm için 12GB, 30 düğüm için 15GB veya 40 düğüm için 18GB gibi daha büyük bellek miktarını önermektedir (Wang and Huang 2012).

3.13 GloMoSim

GloMoSim (Global Mobile Information Simulator), kablosuz ve kablolu iletişim ağı sistemini simüle eden bir ağ simülatörüdür. GloMoSim, Parsec tarafından sağlanan paralel ayrık olay simülasyon yeteneği kullanılarak tasarlanmıştır (Parsec, paralel programlama dilini destekleyen UCLA tarafından geliştirilen Paralel hesaplama laboratuarı tarafından geliştirilen C tabanlı simülasyon dalıdır). Şu anda yalnızca kablosuz protokolleri destekleyen Glomosim, adhoc (özel) ağı ve geleneksel internet protokolünü kullanarak heterojen iletişim ağıyla bağlantılı binlerce düğüm simüle edebilir. GloMoSim tarafından sağlanan herhangi bir GUI yoktur ve mevcut belgeler çok derin değildir. GloMoSim ayrıca Open Source Lisansı altında dağıtılan, C ++ tabanlı simülatördür (paralel işlemleri sürdürmek için Parsec ile birlikte kullanılır). Kablosuz Mesh Ağları için destek, QualNet'de olduğu gibi geniş bir aralıkta değildir, ancak simülatör binlerce düğüm içeren ağları simüle edebilmektedir. Simülatör, görsel olarak harici GUI araçlarını kurma olanağı sunmaktadır. Bazı dezavantajlara rağmen, GloMoSim, araştırmacılar arasında oldukça popüler bir araç olarak kullanılmaktadır. Şekil-8'de GloMoSim simülasyon aracının mimarisi gösterilerek bu aracın modüler yapısı belirtilmiştir (Zeng et al.1998).

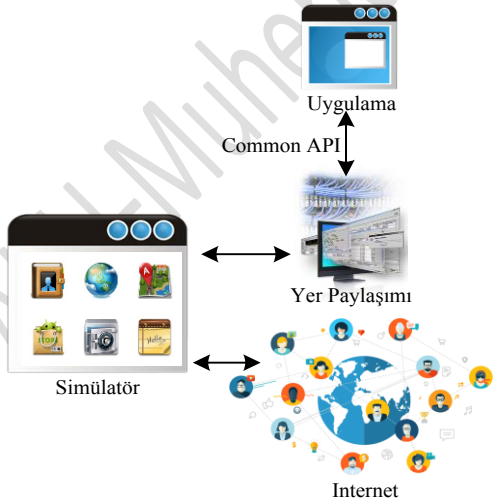
Akademik Bilişim Dergisine Gönderildi



Şekil 8. GloMoSim simülasyon aracının mimarisi

3.14 Real

REAL, başlangıçta paket anahtarlamalı veri ağlarındaki akış ve tıkanma kontrol şemalarının dinamik davranışlarını incelemek üzere tasarlanmış, modülleri C dili oluşturulmuş bir ağ simülatörüdür. Şekil-9 da ise bu simülatörün genel mimarisi belirtilmiştir. Verilen bu şekille simülasyon aşamasındaki işlem adımları ve genel mimari belirtilmiştir.



Şekil 9.REAL simülasyon aracının mimarisi

İş yükü ve akış uyarı protokolünün karışımı, tek bir C uygulamasıyla gerçekleştirilir. Kullanıcılara ağ yapılarını belirlemenin ve davranışlarını simüle edilmesinin bir yolunu sunmaktadır. Bilinen çeşitli akış kontrol protokollerinin ve 5 araştırma zamanlama disiplininin (Fair Queuing ve Hiyerarşik Round Robin gibi) eylemlerini tam olarak simule eden yaklaşık 30 modül (C'de yazılmış) sağlamaktadır. Sistemin modüler tasarımı yeni modüllerin az çaba harcayarak sisteme eklenmesini sağlar ve İlgili kullanıcıların simülatörü kendi amaçlarına göre değiştirebilmesi için kaynak kodu sunmaktadır. Bu simülatör, bir ağ topolojisi, protokoller, iş yükü ve kontrol parametrelerinin bir açıklaması olarak bir senaryo girişi alır. Her veri kaynağından gönderilen paketlerin sayısı, her kuyruklama noktasındaki kuyruklama gecikmesi ve bırakılan ve yeniden gönderilen paketlerin sayısı gibi çıktı istatistikleri üretir. (Sırma et al.2016).

3.15 M5 Simülatör

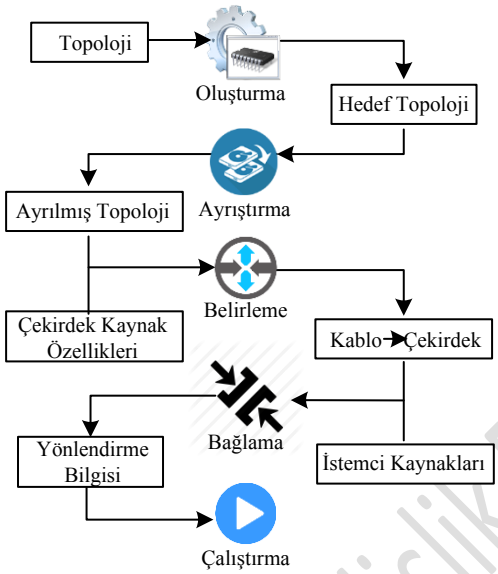
M5 simülatörü iki nesneye yönelik dil kullanılarak uygulanmaktadır. Esneklik ve programlamanın kolaylığı söz konusuysa, üst seviye nesne yapılandırması ve simülasyon betiği için Python ve performansın önemli olduğu düşük seviye nesne uygulaması için ise C ++. Tüm simülasyon nesneleri (CPU'lar, otobüsler, önbellekler, vb.) hem Python'da hem de C ++'da nesneler olarak temsil edilmektedir. Konfigürasyon için Python nesnelerini kullanmak, esnek betik tabanlı nesne bileşiminin karmaşık simülasyon hedeflerini tanımlamasına olanak tanımaktadır. Yapılandırma Python'da yapıldıktan sonra, M5 Simülatörü, ayrıntılı modelleme için iyi bir çalışma zamanı performansı sağlayarak buna karşılık gelen C ++ nesnelerini örneklendirebilmektedir. M5 simülatörü özellikle TCP / IP ağında araştırmayı mümkün kılmak için geliştirilmiştir. M5 simülatörü, tam sistem yeteneği, ayrıntılı bir G / Ç alt sistemi ve çoklu ağ sistemlerini deterministik olarak simüle edebilme yeteneği de dahil olmak üzere, ağa bağlı ana makinelerin benzetimini yapmak için gerekli özellikleri sunar. M5'in genel amaçlı bir mimari simülatörü ve açık kaynak lisansı olarak kullanışlılığı, birçok akademik ve ticari grup tarafından benimsenmesine sebep olmuştur (Soni and Ravi 2014).

3.16 Modelnet Emülatör

ModelNet, gerçek ağa bağlı sistemlerle tekrarlanabilir, büyük ölçekli denemeler için tasarlanmış bir ağ emülatörüdür. ModelNet emülatörünün gerçekçi kurulum koşullarını simüle etmek için bir takım özel makinelere ihtiyacı vardır. Bu makinelerin (çekirdek) bir alt kümesi, kullanıcı tarafından belirlenen bir ağ topolojisini benzeyerek, gecikme, bant genişliği ve tek tek ağ şebekesinin

Mühendislik Bilimleri Dergisi

atma hızlarını üretmektedir. Makinelerin geri kalanı (kenar düğümler), son kullanıcı uygulamaları ve taşıma protokollerini çalıştırır. ModelNet ile, modifiye edilmemiş işletim sistemlerine, ağ yığınlarına ve uygulamalara öykünülmüş ağ üzerinden iletişim kurmaya izin verilmektedir. Paylaşılan geniş alan test kuşaklarından farklı olarak, ağ ve kenar düğümleri tek bir kullanıcıya ayrılmıştır. Bu, çalışmaların tekrarlanabilir olmasını sağlamaktadır; Dış trafikten, yönlendirme değişiklikleri veya uç düğümlerdeki CPU çekişmesinden izole edilmektedir. Şekil-10'da ise MODELNET simülasyon aracının mimarisi gösterilmiştir(Soni and Ravi 2014; Mahadevan et al. 2002; Vahdat et al. 2002).



Şekil 10.MODELNET simülasyon aracının mimarisi

3.17 Imunes

Günümüz dünyasında ticari ve resmi kurum/kuruluşlar çalışmalarında yoğun olarak bilgi kullanımına ihtiyaç duymaktadırlar. Gelişen teknoloji ile birlikte, geçmişe dair bilgilerin önemi de artmakta ve bu veriler istatistiksel olarak çeşitli araştırma sonuçları için kullanılmaktadır. Bilginin büyük çoğunluğu da ağ üzerinde internet ortamında elde edilmektedir. Bu amaçla geliştirilen IMUNES simülatör, grafiksel ağ yapısının genel diyagramı konusunun düzenine yönelik benzer bir şekilde tasarlanmıştır. Bu simülasyon aracında düğümler ve yönlendiriciler graf olarak temsil edilmektedir. IMUNES, bir FreeBSD ana sistemini temel alarak, gösterim konusunda sanal düğümler oluşturarak IP ağlarını simüle eder. Bu sanal düğümler, Linux Containers (LXC) ile aynı olan freebsd Jails sanallaştırma özelliğini kullanarak oluşturulan sanal ağ yığını örnekleridir ve hızlı bir şekilde başlatılan ve hızlı bir şekilde görünen bir sanal düğüm sistemini sağlamaktadır. Her sanal düğüm FreeBSD dosya sisteminin kendi kopyasını çalıştırır, kendi IP'si ağ konfigürasyonuna erişebilir ve bağlantılar için trafik üretmek veya manipüle etmek için tanıtılan UNIX yardımcı programlarını yönetebilir. IMUNES ile oluşturulan bu yapı, keyfi karmaşık ağ topolojilerini oluşturmak için çekirdek düzeyinde bağlantılar vasıtasıyla birbirine bağlanabilen çok hafif sanal düğümlere bölünmüştür. IMUNES'in Linux sürümü, FreeBSD sürümünde sunulan tüm özelliklere henüz sahip değildir ancak geliştirme ekibi, her iki sürüm de benzer özellikleri destekleyene kadar daha fazla özellik eklemeyi amaçlamaktadır (Soni and Ravi 2014).

4. Benzetim Araçlarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada literatürde en çok karşılaşılan ağ benzetim araçları incelenmiştir. Ayrıca literatürdeki kaynaklarda pek geçmeyen yeni geliştirilmiş Linux veya BSD üzerinde çalışan bazı açık kaynak ağ simülatörleri de mevcuttur. Sanal makineler olarak kullanılabilen ve diğer sanal makine kök dosya sistemleri oluşturmak için basit talimatlar sunan çok önceden hazırlanmış dosya sistemleri sunan Cloonix, kullanımı kolay bir grafik kullanıcı arabirimi sağlamaktadır. Her iki ayda bir veya üç ayda güncellenen ve kullanıcı girdilerine çok tepkili olan bir aktif geliştirme ekibine sahiptir. Common Open Research Emulator (CORE), bir GUI arabirimi sağlar ve Linux Containers (LXC) içindeki Ağ Ad Alanları işlevselliğini bir sanallaştırma teknolojisi olarak kullanır. Bu, CORE'un çok sayıda sanal makineyi hızlıca başlatmasını sağlar. CORE, sabit ve mobil ağların simülasyonunu destekler. Zagreb Üniversitesi'nde araştırmacılardan oluşan bir ekip, bir ağ araştırma aracı olarak kullanılmak üzere Entegre Çok Protokollü Ağ Emulator / Simülatörünü (IMUNES) geliştirdi. IMUNES hem FreeBSD hem de Linux işletim sistemlerinde çalışır. FreeBSD tarafından sağlanan çekirdek seviyesinde ağ yığını sanallaştırma teknolojisini kullanmaktadır. İsviçre'deki Lozan'da bulunan École Ploytechnique Fédérale de araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve kullanılmış olan LINE Network Emulator, gerçekçi performans, tekrarlanabilir sonuçlar ve güçlü ölçüm özellikleri sunmaktadır. Bunu başarmak için, her biri aşağıdaki rollerden birini gerçekleştiren Kontrol Merkezi, Trafik Oluşturucu ve Ağ Emulator şeklinde üç ayrılmış bilgisayardan oluşan bir kurulum kullanılmaktadır. Çalışma aşamasında kaynak sıkıntısı ile karşılaşılan LINE'ı

Mühendislik Dergisine GÖNDERİLDİ

kurma ve kullanma işlemi çok karışık görünmesine rağmen her bilgisayarı kurmalı ve LINE donanım gereksinimlerine göre birbirine bağlanmalıdır. Bir test ağları yapılandırmak için birçok parametre ve seçenek sunmaktadır.

Marionnet, kullanıcıların bir ana bilgisayarda karmaşık bilgisayar ağlarını tanımlamasına, yapılandırmasına ve çalıştırmasına izin vermektedir. Bilgisayarlar, yönlendiriciler, hub'lar, anahtarlar, kablolar ve daha fazlasına sahip bir Ethernet ağını simule edebilir. Marionnet, bir eğitim aracı olarak kullanılmak üzere tasarlanmış gibi görünse de cazip bir grafik kullanıcı arayüzü ve bazı örnek uygulama laboratuarı yapılandırmalarına sahiptir. Marionnet bir kullanım kılavuzu sağlamaz, ancak kullanıcı arayüzü oldukça sezgisel bir biçimdedir.

Mininet, Yazılım Tanımlı Ağ teknolojileri araştırmalarını desteklemek üzere tasarlanmıştır. Sanal düğümler oluşturmak için sanallaştırma teknolojisi olarak Linux ağ ad alanlarını kullanmaktadır. Tek bir işletim sisteminde binlerce sanal düğümü destekleyebilen Mininet, SDN denetleyicileri oluşturan araştırmacılar için en faydalı simülasyon aracıdır. Mininet'i kullanırken Python komut dosyası dili bilgisi çok yararlı olmaktadır. Mininet projesi mükemmel dokümantasyon sağlaması yönüyle, büyük bir araştırmacı topluluğu tarafından aktif olarak kullanılmaktadır.

Netkit, sanal makine oluşturmak için kullanıcı modu Linux kullanan komut satırı tabanlı bir simülasyon aracıdır. İyi bir belgeye sahip olan Netkit, Linux OS sahip her makinede çalışabilir. Aracın web sitesinde herbir senaryo için dokümantasyonla birlikte uygulama için ilginç laboratuvar senaryolarının yer aldığı uzun bir liste vardır. Ayrıca, yapılan araştırmalar sonucunda küçük bir topluluk tarafından aktif olarak desteklendiği ve en son 2011'de güncellendiği görülmektedir.

OFNet, Mininet ağ emülatörüne benzer bir işlevsellik sunan ve trafik üretmek ve OpenFlow mesajlarını izlemek ve SDN denetleyicisi performansını değerlendirmek için bazı yararlı araçlar sunan yeni bir yazılım tanımlı ağ (SDN) emülatörüdür.

OpenStack all-in-one, dizüstü bilgisayarlara veya sanal makine gibi tek bir makineye bir OpenStack kurulumunu ayarlamaya yardımcı olan komut dosyalarına karşılık gelmektedir. Bilinen en iyi araçlardan olan DevStack, ancak çoğu satıcının OpenStack dağıtım araçları hepsi birarada bir OpenStack sistemi kurmanın bir yolunu sunmaktadır. Yani, hepsi bir arada sistemlerin herhangi biri, bulut sistemleri ile deneme yapmak isteyen öğrenciler ve araştırmacılar için bir OpenStack simülatörü görevi görebilmektedir.

Psimulator2, öğrencilere temel IP ağ kavramlarını göstermek için kullanılabilecek basit bir grafiksel ağ simülatörüdür. Tam işlevsel bir simülatör değildir, çünkü her taklit düğümde yalnızca normal bir ağ işlevselliği alt seti desteklenmektedir. Java'yı destekleyen; Windows, Mac OS ve Linux da dahil olmak üzere herhangi bir sistemde çalışacaktır. Simülasyon tarafından üretilen veri trafiğini "yakalama" ve "oynatma" yeteneği sunar. Paketler, ağ üzerinde dolaşan zarflar olarak GUI'de görüntülenir.

Shadow, Tor ve Bitcoin gibi gerçek uygulamaları tek bir Linux bilgisayarda simüle edilen bir İnternet topolojisiyle ve Amazon EC2'de önceden yapılandırılmış bir AMI örneği üzerinde çalıştıran açık kaynaklı bir ağ simülatörü / emülatör hibrididir. Kullanıcılar, ağ topolojisini ve uygulama kodlarını simülasyondaki düğümlere bağlamak için eklentileri tanımlamak için bir XML dosyası oluşturarak bir simülasyon çalıştırmaktadırlar. Deneylerinin sonuçlarını Shadow tarafından üretilen günlük dosyalarında görürler. Shadow, ayrı olay simülatörü olarak çalışır, böylece deney sonuçları tekrarlanabilir. Shadow, sanal düğümlerinde kullanıcı tarafından oluşturulan eklentileri kullanarak gerçek yazılım da çalıştırabilir. Bu özellik kombinasyonu - gerçek olay emülasyonu ile gerçek yazılım emülasyonu - Shadow'u eşsiz bir araç haline getirmektedir.

Unified Networking Lab (UNetLab), sanal ticaret yönlendirici görüntülerini (Cisco ve NOKIA gibi) ve açık kaynak yönlendiricileri destekleyen ağ emülatörüdür. Cisco yönlendirici ve geçiş görüntülerini desteklemek için Dynamips ve IOS-on Linux kullanır ve diğer tüm aygıtları desteklemek için KVM / QEMU kullanır. Sanal makine görüntüsü olarak mevcuttur ve ayrıca Ubuntu Linux çalıştıran özel bir sunucuya da yüklenebilmektedir.

VNX, iki farklı sanallaştırma tekniğini destekler ve sanal ağı tanımlamak için bir XML tarzı betik dili kullanmaktadır. Aynı zamanda, birden fazla fiziksel iş istasyonunda zincirleme yaparak, birden fazla fiziksel iş istasyonunda çalışan dağıtılmış sanal laboratuarı desteklemektedir. Küçük bir topluluk tarafından desteklenmekte olan VNX, en son yaklaşık 5 yıl önce güncellenmiştir.

Ağ ortamında gerçekleşen olayların çalışmasının, yapısının ve protokollerin alt yapısının kavranmasına olanak tanıyan bu benzetim araçları bir çok türde ve özellikte karşımıza çıkabilmektedir. Varsayımsal olan veya gerçek hayatta olan nesneleri veya etkinlikleri bir bilgisayarda

AKÜ Mühendislik Dergisine GÖNDERİLDİ

modelleyebilmeye yarayan bu araçlar sayesinde sistemin nasıl çalıştığı detaylı olarak incelenebilmektedir. Bir sistemin genel yapısını anlamak ve davranışını tahmin etmek amacıyla kullanılacak benzetim aracı simüle edilecek yapıya ve bu yapının işlevlerine göre seçilmesi gerekmektedir. İncelenen bu araçlar arasında gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde GNS3 ve OmNet++'ın büyük ölçekli ağ simülasyonunda etkili bir kullanım sağladığı görülmüştür.

Başarımıyüksek ve performanslı olan bu iki araç kıyaslandığı zaman ise GUI desteğine ihtiyaç duyulduğunda OmNet++ kullanılması gerekmektedir ancak performans olarak GNS3'e göre daha da kısıtlıdır. Performans ve simülasyon kapasitesi öncelikli olduğu zaman GNS3'nin seçilmesi önerilmektedir. Bu araçlar arasında hız açısından en iyisi Ns-3 olarak tespit edilmiştir ancak CPU'yu tam olarak kullanmaktadır. Bu açıdan bakılınca diğer uygulamalar paralel yürütülürken CPU kullanımını azaltabilir. Oldukça yeni olmasına ve hala geliştirilmesine rağmen, ns-3'ün en iyi performansını sergilediği görülüyor [36].

En çok kullanılan araçlar arasında yer alan Qualnet ve Opnet ticari, Ns-2, Omnet ++ ve J-Sim açık kaynaklı benzetim araçlarındandır. Açık kaynak olmaları açısından ise ns-2 ve OMNeT ++ en çok tercih edilen seçenekler arasında yer almaktadır. Ns-2, akademik araştırmalar için en popüler simülatördür ancak normalde karmaşık mimarisi tarafından eleştirilmektedir. Bununla birlikte, çoğunlukla araştırma toplulukları tarafından kullanılmaktadır (Siraj et al. 2012).

OMNeT ++, oldukça geniş ve belirli ihtiyaçlar için ek modüller veya kütüphaneler bulabilmesi açısından eğitim ve sanayi alanında popülerlik kazanmaktadır. OMNeT ++ iyi tasarlanmış bir simülasyon motoruna ve güçlü GUI yeteneğine sahiptir. Ticari simülatör olması açısından, Qualnet ise hemen hemen tüm önemli özellikleri karşılamaktadır. OPNET Modeler ve QualNet tüm özellikleri kapsamaları açısından çok iyi seçimlerdir, ancak ticari uygulamalar olduğundan, her araştırmacı için kolaylıkla erişem sağlanamayacaklardır. Diğer bir iyi seçim GloMoSim'dir, özellikle büyük ölçekli ağları simüle ederken, destek ve dokümantasyon eksikliği nedeniyle bu simülatör diğer araçlar kadar popüler değildir (Köksal 2008; Alessandria 2011).

Tablo 1'de simülasyon ve emülasyon işlemlerini gerçekleştirecek ağ benzetim modelleme araçların genel yapısı hakkında karşılaştırmalı bilgiler sunulmaktadır. Bu tablo tarafımızdan incelenen bir çok literatür çalışmasından ve bu araçların resmi sayfalarından alınan bilgiler doğrultusunda derlenmiştir.

AKU-Muhendislik Dergisine GÖNDERİLDİ

Tablo 1.Ağ benzetim araçlarının çeşitli özellikleribakımından karşılaştırma tablosu

SIMULATOR	DİL	TYPE	PLATFORM	GUI DESTEĞİ	ÖĞRENME ZAMANI	AĞ PROTOKOL DESTEĞI
OMNeT++	C++	Açık Kaynak	Windows, Unix, Linux, Mac-Os	İyi	Orta	Wireless Networks
NS (1-2-3)	C++	Açık Kaynak	Windows (with Cygwin), Linux, Unix	Kötü	Uzun	TCP / IP, Multicast yönlendirmesi, kablolu ve kablosuz ağlar üzerinden TCP protokolleri
GNS3		Ticari/Akademik	Windows	Mükemmel	Kolay	WLAN, Ethernet, TCP/IP, and ATM
OPNET	C,C++	Ticari/Akademik	Windows	Mükemmel	Uzun	ATM, TCP, Fiber dağıtılmış veri arabirimi (FDDI), IP, Ethernet, Frame Relay, 802.11 ve wireless
NCTUns	C ++	Açık Kaynak	FreeBSD, Unix, Linux	Mükemmel	Kolay	TCP/IP, Wireless Networks
Cisco Packet Tracer	C++,Python,JAVA	Academik	Windows, Linux, Mac-Os,Android	Mükemmel	Çok Kolay	WLAN, Ethernet, TCP/IP, ve ATM
GTNetS	C ++	Açık Kaynak	Windows, OSX, Solaris, Linux	İyi	Orta	Point-to-Point, Shared Ethernet, Switched Ethernet, ve Wireless links.
SSF-Net	Java	Açık Kaynak	Windows, Linux	Orta	Kolay	IP, TCP, UDP, BGP4, OSPF, hosts, routers, links, LANs
Boson NetSim	C	Ticari/Akademik	Windows	Mükemmel	Kolay	WLAN, Ethernet, TCP/IP, and ATM
QualNet	C++	Ticari	Linux	Mükemmel	Çok Kolay	Wired ve wireless networks; wide-area networks.
JSIM	JAVA TCL	Açık Kaynak	Windows, Linux, Matlab	İyi	Orta	Wired Network, Wireless Network, Wireless Sensor Network, radio channels ve powerconsumptions
VIRL	Open Stack(Python)	Ticari/Akademik	Windows, Unix, Linux, Mac-Os	İyi	Orta	OSPF, ISIS, RIP & BGP
GLOMOSIM	Parsec C	Açık Kaynak	Linux, Windows	Kötü	Uzun	random-waypoint, 802.11, MACA, CSMA, TSMA, Bellman-Ford, AODV, DSR, LAR, WRP, Fisheye, ZRP
REAL	C	Açık Kaynak	Digital Unix / SunOS / Solaris / IRIX / BSD4.3 / Ultrix / UMIPS	İyi	Orta	TCP/IP
M5 SIMULATOR	C++ Python	Açık Kaynak	FreeBSD	Orta	Orta	TCP/IP
MODELNET EMULATOR	Sanal Bağlantı	Açık Kaynak	FreeBSD, Linux	Orta	Orta	IPv4, IPv6
IMUNES	Tcl/Tk	Açık Kaynak	FreeBSD, Linux	İyi	Kolay	IPv4, IPv6, Routing Protocols

5. Sonuç ve Tartışma

Ağ simülasyonu, temel ağ yapısının simüle edildiği ve sanal olarak uygulandığı bir ağ prosedürüdür. Ağ simülasyonunun gelecekteki kapsamı çok geniş ve kapsamlı olacaktır. Çünkü ağ yapısının gelişmesi ve sürekli büyümesi sistemi karmaşık hale getirmektedir. Bu karmaşıklık maliyet artışı ve zaman kaybını da beraberinde getirecektir. Ağ simülasyonu ile bu durumular çözülebilmenin yanı sıra, bu aşamada iyi ve kanıtlanmış bir sonuç elde edilmesine yardımcı olabilmektedir. Simülasyon modern çağın önemli teknolojilerinden biridir. Ağ simülatörleri, araştırmacıların gerçek dünyada simüle edilmesi zor veya pahalı senaryoları test etmelerini sağlar. Özellikle geliştirilen yeni ağ protokollerinin test edilmesi veya mevcut protokolleri kontrollü ve tekrarlanabilir bir ortamda değiştirmek için benzetim araçlarının kullanılması büyük kolaylık ve avantaj sağlamaktadır. Bu araçlarda güncel olan ve birbirinden farklı birçok farklı cihazların kullanılması mümkün olabilmektedir. Ayrıca, tasarımı yapılacak her türlü farklı ağ topolojilerinin tasarlanarak, gerçek sistemlere yakın sonuçlar veren emülatör araçları ile gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir.

KU-Mühendislik Dergisine GÖNDERİLDİ

Araştırmalardan elde edilen bilgiler neticesinde zaman ve maliyet açısından optimallik sağlayan bu benzetim araçları üzerindeki gelişmeler kullanıcıların öğrenmesini ve kullanmayı kolaylaştırdığı, dokümantasyonda daha fazla uzmanlaştıkça bu simülatörlerin daha fazla geliştiği ve popüler olacağı görülmektedir. Bu gelişme mevcut benzetim araçlarının da gelişmesini gerekli kılmaktadır. Bu gelişmeyle beraber OPNET'in geliştiricileri de son zamanlarda yeni birçok özellik eklemişlerdir. Bu özellikler WAN optimizasyon çözümlerini kullanan kurumlar ve NetFlow verilerini yakalama ve analiz etme yeteneği için uygulama performansına uçtan uca görünürlük kazandırmasını sağlayan iki önemli uygulama performans yönetimi özelliğidir. OPNET geçtiğimiz yakın zamanda ACE Analyst yazılımını yükseltmiş ve işlevsellik içeren WAN optimizasyon cihazlarını kullanan son kullanıcı kuruluşlarının, WAN hızlandırma çözümlerini dağıtırken uygulama performansına uçtan uca devam etmesini sağlamayacağını belirtmiştir.

OPNET Inc.'in tutarlı çalışması ve gelişimi nedeniyle OPNET olgunlaşmaya başlamış ve bu ürün endüstride yüksek bir kabul görmüştür. Ayrıca, OPNET her zaman en yeni kullanıcı ihtiyaçlarını gözler önüne sermiş ve ürünlerini iyileştirmeye devam etmiştir. Böylece yakın gelecekte diğer ticari ağ simülatörlerine kıyasla çok rekabetçi hale gelecektir. Bununla birlikte, NS3 ise halen gelişmeye devam etmekte ve NS3'ün çözmesi gereken bazı büyük sorunlar devam etmektedir. Öncelikle, simülasyon itibarının geliştirilmesi gerekmekte olan NS3'ün simülasyonların sınırlamalardan birinin genel olarak, çoğu zaman güvenilirlik eksikliğinden kaynaklandığı bilinmektedir. OMNeT++ şu anda açık kaynaklardan olduğu ve geniş çevrimiçi belgeler bulunduğu için, akademik alanda genişletilebilirliği açısından popülerdir. Bu sebeple de hem akademide hem de endüstride NS3 kullanılmaktadır.

Kaynaklar

Baykara, M., Daş, R., Karadogan, İ., 20-21 Mayıs 2013. Bilgi Güvenliği Sistemlerinde Kullanılan Araçların İncelenmesi. *1st International Symposium on Digital Forensics and Security (1. Uluslararası Adli Bilişim ve Güvenlik Sempozyumu),* 231-239.

Clore, B., Dunlop, M., Marchany, R., Tront, J., 2012. Validating a custom IPv6 security application using OPNET modeler. *MILCOM 2012 - 2012 IEEE Military Communications Conference*, 1-6.

Çobanoğlu, B., Zengin, A., Ekiz, H., 2013. Geniş Ölçekli Ağlar İçin Yeni Bir Dağıtık Ayrık Olay Tabanlı Benzetim Yaklaşımı.*Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri Ve Mühendisliği Dergisi*.

Deb, S., Gupta, P., Nagaraj, K., Srinivasan, V., Ocak 2015. An Agile and Efficient MAC for Wireless Access over TV Whitespaces. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 14(1), 42-57.

F., Rattal, S., Badri A., Moughit, M., 2014. A new SIP proxy prototype supporting H.323 protocol in OPNET Modeler. *International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS),* 1095-1100.

Gupta, S. G., Ghonge, M. M., Thakare, P. D., & Jawandhiya, P. M., 2013. Open-source network simulation tools: An overview. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 2(4), pp-1629.

Hao, J., Wu, J., Guo, C., 2011. Modeling and simulation of CAN network based on OPNET. *IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks*, 577-581.

Hassouna, A. B., Koubaa, H., Kamoun, F., 2012. A model for deploying an opportunistic MAC protocol in NS-2. *6th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT)*, 604-611.

Hendawy, M., ElMansoury, M., Tawfik, K. N., 2014. Application of parallel redundancy in a Wi-Fi-based WNCS using OPNET. *IEEE 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 1-6.

Kamoltham, N., Nakorn, K. N., Rojviboonchai, K., 2012. From NS-2 to NS-3 - Implementation and evaluation. *Computing, Communications and Applications Conference*, 35-40.

Khan,A. R., Bilal,S. M., Othman,M., 2012. A performance comparison of open source network simulators for wireless networks. *2012 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, Penang*, 34-38.

Khan, S. N., Kalil M., Thiel, A., M., 2013. crSimulator: A discrete simulation model for cognitive radio ad hoc networks in OMNeT ++. *6th Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC)*, 1-7.

Kucuk, K., Bandirmali N., Kavak, A., 2012. Modeling of the modified SSLE in OPNET for large scale wireless sensor networks. *The 5th International Conference on Communications, Computers and Applications (MIC-CCA2012)*, 53-58.

Kucuk, K., Yiğit, H., Kavak, A., 2007. Kablosuz Algılayıcı Ağlar İçin Akıllı Anten Tabanlı Sektörel Tarama Protokolünün OMNeT++ ile Modellenmesi. *III. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu (İTUSEM 2007)*, 109-114.

Kumar, A., Kaushik, S. K., Sharma, R., Raj, P., 2012. Simulators for Wireless Networks: A Comparative Study. *2012 International Conference on Computing Sciences*, 338-342.

Mahadevan, P., Yocum, K., & Vahdat, A., Eylül 2002. Emulating large-scale wireless networks using modelnet. In Poster and Abstract Mobicom 2002.

Makasiranondh, W., Maj, S. P., Veal, D., 2010. Pedagogical evaluation of simulation tools usage in network technology education. Engineering and Technology 8, 321-326.

Maria, A., 1997. Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation. IEEE Computer Society.*

Marghescu, C., Pantazica, M., Brodeala A., Svasta, P., 2011. Simulation of a wireless sensor network using OPNET. *2011 IEEE 17th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 249-252.

Meenakshi, S., Kaushik, A., 2014. Comparative analysis of handover and traffic classes in UMTS using OPNET simulator for improving QoS. *International Conference on Signal Propagation and Computer Technology (ICSPCT 2014)*, 288-293.

Mishra, V., Smita, J., 2014. Analysis and comparison of different network simulators. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*.

Niar, L. I., Haffaf, H., 2012. Graphical Analysis for monitoring in a sensor network (WSN). Simulator: OMNET++. *International Conference on Education and e-Learning Innovations*, 1-6.

Ozcerit, A., Altunay, H., 2014. Türkiye internet ağ altyapısının performans analizi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 18*, 167-170.

Privalov, A. Y., Tsarev, A., 2014. Analysis and simulation of WAN traffic by self-similar traffic model with OMNET. *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 629-634.

Pujeri, U. R., Palanisamy, V., 2014. Survey of Various Open Source Network Simulators. *International Journal of Science and Research (IJSR)*.

Pana, F., Put, F., 2013. RSVP Bundle Extension in OPNET Modeler: Implementation and Evaluation. *European Modelling Symposium,* 623-628.

Shea,J., Converting SSFNet Simulation Definition to Genesis Format, Computer Science Master's Project, Rensselaer Polytechnic Institute Troy, NY 12180.

Sırma, M., Yakut, M., Tangel, A., Kavak, A., Ertürk, İ., 2006. Taşma İletişim Kuralının Omnet++ İle Benzetimi. *Union Radio Scientifique Internationale 3. Bilimsel Kongresi URSI-TÜRKİYE 2006*, 592-594.

Siraj,S.,Gupta,A., Badgujar, A., 2012. Network simulation tools survey. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering 1.4, 199-206.

Soni, K., Ravi, P., Nisan 2014. Improved survey on network simulation tools. *International Journal of Engineering Research and Technology. 3 (4),* ESRSA Publications.

Wang, S.Y., Huang, Y. M., 2012. NCTUns distributed network emulator. *Internet Journal 4.2*, 61-94.

Vahdat, A., Yocum, K., Walsh, K., Mahadevan, P., Kostić, D., Chase, J., & Becker, D., 2002. Scalability and accuracy in a large-scale network emulator. *ACM SIGOPS Operating Systems Review, 36(SI)*, 271-284.

Vilhan, P., Gajdos, J., 2012. ADEUS: Tool for Rapid Acceleration of Network Simulation in OMNeT++. *UKSim 14th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, 591-595.

Yang, S., He, R., Wang, Y., Li, S., Lin, B., 2014. OPNET-based modeling and simulations on routing protocols in VANETs with IEEE 802.11p. *The 2014 2nd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2014)*, 536-541.

Zeng, W., Wang, J., Hu, S., 2012. DiffServ Network Simulation and Performance Analysis Based on NS-2. *Fourth International Conference on Computational and Information Sciences*, 1092-1095.

Zand, P., Dilo, A., Havinga, P., 2012. Implementation of WirelessHART in NS-2 simulator. *Proceedings of 2012 IEEE 17th International Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA 2012)*, 1-8.

Zeng, X., Bagrodia,R., Gerla, M., 1998. GloMoSim: a library for parallel simulation of large-scale wireless networks, Parallel and Distributed Simulation. *1998 PADS 98. Proceedings Twelfth Workshop*, 154-161.

İnternet Kaynakları

Alessandria, D. R. E., Muscariello, L., & Rossi, D., 2011. ModelNet-TE: An emulation tool for the study of P2P and Traffic Engineering interaction dynamics. Technical report, Telecom ParisTech, available at http://www. enst. fr/drossi/ModelnetTE/modelnet-techrep. pdf.

Köksal, M., 2008. A survey of network simulators supporting wireless networks. línea: http://www. ceng. metu. edu. tr/~ e1595354/A% 20Survey, 20.

AKU-Muhendislik Dergisine GÖNDERİLDİ