

Gelecek Nesil Dar Bant Terminal ile Radyo Link ve Yerel Alan Ağlarında Yapılan Güvenli Haberleşme Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

Comparison of Test Results of Secure Communication Performed on the Local Area and Radio Link Networks with the Next Generation Narrow Band Terminal

Orkun DİLLİ

Elektronik Haberleşme Teknolojileri Programı
Hava Astsubay Meslek Yüksekokulu
odilli@tekok.edu.tr

Özet

Haberleşme, her geçen gün değerini bizlere daha fazla hissettirmekte ve özellikle uçtan uca güvenli haberleşme yaşamımızda hayati bir öneme sahip olmaktadır. Bu durumun farkına varan gelişmiş ülkeler, uçtan uca güvenli haberleşme konusunda ciddi çalışmalara başlamışlardır. Bu çalışmalardan en önemlilerinden biri FNBDT (Future Narrow Band Digital Terminal) ismiyle başlayan ve daha sonra SCIP (Secure Communication Interoperability Protocol) ismini alan projedir. Bu proje ile haberleşme alt yapısı/gönderme ortamı ne olursa olsun farklı şebekelerdeki dar bant terminallerin birbiriyle güvenli bir şekilde haberleşmesi hedeflenmektedir. Farklı haberleşme ağları üzerinde uçtan uca emniyetli haberleşmenin yapılması amacıyla geliştirilen FNBDT/SCIP protokolü, emulasyon yazılımı ile test edilmiştir. Bu çalışmada, Radyo Link ve Yerel Alan Ağlarında yapılan testlerde elde edilen ses ve veri haberleşmelerine ait sınır değerler, standartlar dikkate alınarak, karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Abstract

Communication makes us feel its value more with each passing day, especially end to end secure communication is getting a vital importance in our lives. Developed countries which are aware of this issue have started to work seriously on end to end secure communication topic. One of the most important studies is the project which started with the name FNBDT (Future Narrow Band Digital Terminal) and named as SCIP (Secure Communication Interoperability Protocol) later on. With this project it is aimed that narrow band terminals on different networks will be able to communicate securely regardless of communication infrastructure/transmission environment. The FNBDT/SCIP

protocol that is developed to have secure end to end communication between different communication networks is tested with emulator software. In this study, limit values of voice and data communication that are gathered from Local Area and Radio Link tests are compared and evaluated by taking the standards into consideration.

1. Giriş

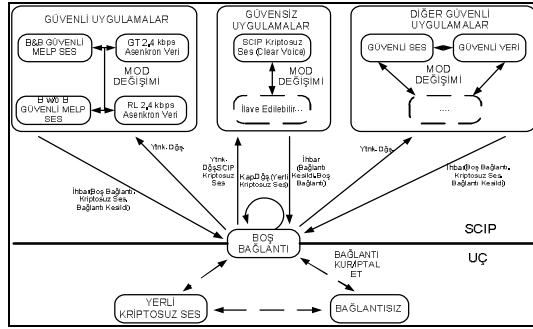
FNBDT (Future Narrow Band Digital Terminal, Gelecek Nesil Dar bant Sayısal Terminal) veya yeni ismiyle SCIP (Secure Communication Interoperability Protocol, Güvenli Birlikte İşlerlik Protokolü), farklı şebekelerde haberleşme yapan cihazların birbirleri ile emniyetli iletişim ihtiyacından doğmuş bir haberleşme protokolüdür. Protokolün temel amacı iletişim sağlayan yeni nesil terminallerin farklı şebekeler üzerinden birbirleriyle dar bant kullanarak emniyetli haberleşebilmelerini sağlamaktır.

FNBDT/SCIP konusunda uluslararası [1-12] ve ulusal [13-24] alanda bugüne kadar yapılan çalışmaların genel olarak üç ana başlıkta toplandığı gözlenmiştir. Bunlar; FNBDT ile ilgili çalışmalar, SCIP ile ilgili çalışmalar ve MELP (Mixed Excitation Linear Prediction, Karışık Doğrusal Kestirim) kodlamasıyla ilgili çalışmalardır.

FNBDT/SCIP konusunda teorik çalışmaların daha yeterli düzeyde olmasına karşılık, uygulamaya yönelik çalışmaların yok denebilecek kadar az olduğu gözlenmiştir. Söz konusu uygulama eksikliğinin giderilmesine yönelik olarak FNBDT/SCIP'in radyo link ve yerel alan ağları üzerinde testleri yapılmıştır. Söz konusu testler ile farklı ağlar üzerinde çağrı kurma, ses ve veri haberleşmelerinin çeşitli hata ve kayıp oranları altında test edilmesi, sınır değerlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Testlerde elde edilen sonuçların bir kısmı daha önce yayınlanmıştı [13, 16, 22]. Bu bildiride ise, radyo link ve yerel alan ağları üzerinde yapılan testlerde elde edilen ses ve veri haberleşmelerine ait sınır değerler ITU (International Telecommunications Union, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği) standartlarıyla da karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2. FNBDT / SCIP Sinyalleşmesi

Şekil 1, FNBDT/SCIP uyumlu bir terminalin uçtan-uca sinyalleşmesini kavramsal olarak göstermektedir. Terminal başlangıçta uzak uca hiç bir haberleşme bağlantısının olmadığı bağlantısız (Connection Terminated) bir durumdadır. Sinyalleşme planında tanımlanan sinyalleşme durumu gerçekleştirilmeden önce iki uç arasında FNBDT/SCIP mesajlarının karşılıklı taşınmasını temin etmek amacıyla kriptosuz bir veri yolu (clear data path) açılması şarttır. Uçlar arasında kriptosuz veri yolunun açıldığı ve üzerinde FNBDT/SCIP uygulamalarının henüz başlatılmadığı bu duruma “Boş Bağlantı” (Connection Idle) adı verilmekte olup, FNBDT/SCIP uygulamaları bahsedilen bu boş bağlantıdan gerçekleştirilebilmektedir. Yetenekler Değişimi (Capabilities Exchange) olarak tabir edilen ilk FNBDT/SCIP çağrı kurulum değişimi standart FNBDT/SCIP kriptosuz ses uygulamaları kullanılarak yapılır. Yetenekler Değişimine ek olarak, standart güvenli FNBDT/SCIP uygulama parametrelerinden karşılıklı haberdar olabilmek için mesaj alışverişlerine ihtiyaç duyulur [12].



Şekil 1: FNBDT/SCIP Protokolü durum diyagramı

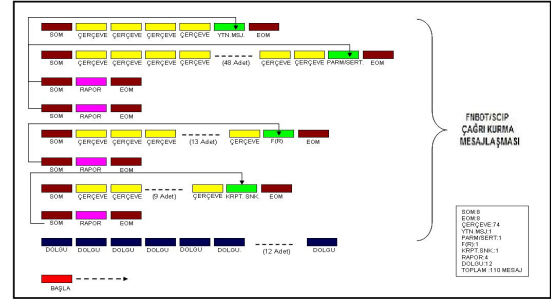
Aynı trafik anahtarını kullanan güvenli uygulamalar veya FNBDT/SCIP uyumlu kriptosuz uygulamaların karşılıklı görüşebilmeleri bir Mod Değişimi (Mod Exchange) işlevi ile sağlanabilmektedir. Uygulamalar arası geçişler zaman zaman Boş Bağlantı durumuna geçebilmektedir. Her hangi bir FNBDT/SCIP durumundan diğer bir duruma geçmek gerektiğinde, bu durum İhbar Mesajlarında (Notification Message) gösterilir. Tekrar FNBDT/SCIP moduna geçileceğinde bir dizi Yetenekler Mesajlaşması karşılıklı olarak yerine getirilir.

Standart bir FNBDT/SCIP durumunda çağrıyı sonlandırarak Boş Bağlantı durumuna, bilahare de kullanılan kriptosuz veri yolunu kapatarak Bağlantı Sonlandırıldı (Connection Terminated) durumuna geçmek için yine İhbar Mesajları kullanılır.

FNBDT/SCIP sinyalleşmesi esas olarak bağlantı kurma ve kontrol sinyalleşmelerinden oluşmaktadır. Bağlantı Kurma Sinyalleşmesi; Yetenekler, Parametre/Sertifika, F(R) (Forward & Reverse, İleri ve Geri) ve Kripto Senkronizasyon (CryptoSync), Bağlantı Kontrol Sinyalleşmesi ise; İhbar İşlemleri (Notification), Mod Değişirme ve Senkronizasyonu Tekrar Kurma konularını içermektedir.

FNBDT/SCIP sinyalleşmesi, Şekil 2’de görüldüğü gibi, sekiz baytlık SOM (Start of Message) ile başlayıp sekiz baytlık EOM (End of Message) ile sonlanmaktadır.

SOM ve EOM arasında gönderilen çerçeveler “çerçeve grubu (superframe)” olarak tanımlanmaktadır. Her çerçeve grubu gönderme yönünde hata düzeltimi (FEC) ve çevrimsel artıklık denetimi (CRC) ile korunan çerçevelerden meydana gelmekte; FEC ile düzeltilemeyen hataların ortadan kaldırılması için ise olumlu veya olumsuz onay verme mekanizmaları (ACK ve NACK) kullanılmaktadır.



Şekil 2: FNBDT/SCIP Çağrı Kurma Sinyalleşmesi

Her bir çerçeve, 1 çerçeve numarası, 13 mesaj, 4 FEC ve 2 CRC olmak üzere 20 bayttan oluşmaktadır. Bu çerçevelerden oluşan her bir çerçeve grubu ise en az bir en çok 127 adet çerçeveden oluşmaktadır.

FNBDT/SCIP sinyalleşmesinde, EOM alındığında öncelikle son alınan çerçevenin ESCAPE veya REPORT olup olmadığına bakılır, eğer değilse o ana kadar alınmış çerçeveler için rapor hazırlanır ve gönderilir. ESCAPE mesajı band genişliği kullanımı, REPORT mesajı ise gelen çerçevelerin hata oran onayları ile ilgili kavramlardır.

Benzer şekilde FNBDT/SCIP sinyalleşmesinde karşılaşılabilecek mesaj türlerinden diğer bir tanesi RESET mesajıdır ki bu mesaj gerekli durumlarda iletim katmanını yeniden senkron hale getirmek için kullanılır. RESET mesajı çerçeve numaralarını sıfırlar ve bir SOM ve EOM arasında yalnızca bir RESET mesajı gönderilir.

FNBDT/SCIP sinyalleşmesinde, bağlantı kurma sinyalleşmesinin ilk adımı olarak terminaller birbirlerine Yetenekler Mesajını (Capabilities Message) göndermektedirler. Bu mesaj sayesinde terminaller birbirleriyle uyumlu olarak ne şekilde çalışabileceklerini (açık veya kapalı modlar) belirli bir esasa bağlamak ve güvenli modda haberleşilecek ise uygun anahtar listesinin seçilmesi de bu sayede mümkün olmaktadır. Yetenekler Mesajı gönderildiği anda ilk mesaj zamanlayıcısı başlamakta, bu zamanlayıcı karşı taraftan FNBDT/SCIP uyumlu mesaj gelmemesi halinde bağlantının zaman aşımına uğramasını temin etmektedir. Zaman aşımı sonunda Boş Bağlantı haline dönülmektedir.

İlk mesajlaşma sonunda eğer güvenli haberleşme kararı verildiyse FNBDT/SCIP bağlantısı kurulabilmesi maksadıyla

trafik anahtarını oluşturabilmek için karşılıklı sertifikaların ve F(R)'ların değiş tokuş yapılması gerekmektedir. Bunlardan sertifikanın gönderilmesi Parametre/Sertifika mesajı ile olur.

F(R) mesajı anahtar takımı ile ilgili bir takım bilgiler (anahtarın tip, uzunluğu vb.), F(R) uzunluğu ve F(R)'ın kendisini kapsayan bir mesajdır. F(R) mesajı iletilmeden önce mutlaka parametre/sertifika mesajı iletilmiş olmalıdır.

FNBDT/SCIP bağlantısı kurmada diğer bir adım kript senkronizasyon mesajlarının değişimidir. Değişimi yapılan sertifika ve F(R) bilgileri ile trafik anahtarı oluşturulmakta, bu anahtar ile test paketi şifrelenip Kripto Senkronizasyon Mesajı haline getirilmektedir.

Bağlantı kurma sinyalleşmesinden sonra kurulan bağlantının değişikliklere tabi tutulmasıyla ilgili bir takım sinyalleşme tanımları mevcuttur. Bağlantı kontrol sinyalleşmesinin amacı; herhangi bir sebeple bağlantıyı sonlandırmak, mevcut uygulamayı değiştirmek, diğer terminali ikaz etmek ve/veya kript senkronizasyonunu baştan sağlamak olabilir. Bağlantı kontrol sinyalleşmesinde dört farklı mesaj vardır. Bunlar İhbar (Notification), Mod Değişim İsteği (Mode Change Request), Mod Değişim Yanıtı (Mode Change Response) ve Kripto Senkronizasyon (CryptoSync) mesajlarıdır.

Mod değiştirme işlemi; talep ve buna verilen cevap şeklinde iki türdür ve sadece her iki terminal de güvenli uygulama trafiğinde iken mümkün olabilir.

Güvenli Ses için beş farklı çağrı mevcuttur. Bunlar [2];

- Güvenli 2,4 kbps MELP kodlu Ses – Blank & Burst (DTX, Discontinuous Voice Transmission),
- Güvenli 2,4 kbps MELP kodlu Ses – Blank & Burst (FCT, Force Continuous Transmission),
- Güvenli MELP kodlu Ses –Burst w/o Blank (DTX),
- Güvenli MELP kodlu Ses –Burst w/o Blank (FCT),
- Güvenli, Gelişmiş Çoklu-Band Uyarımı (AMBE).

FNBDT/SCIP' de Blank & Burst uygulamalı MELP ve Burst w/o Blank olmak üzere iki tip güvenli ses çağrısı yapılabilmektedir.

FNBDT/SCIP uyumlu bir terminalde, kript senkronizasyonunun sürekliliği için belirli periyotlarla terminal tarafından 2,4 kbps'de üretilen MELP kodlu ses bilgisinin üzerine kript senkronizasyon bilgisi yazılır. Bu işleme "B&B" (Blank and Burst) protokolü denilmekte ve bu uygulamada zaman zaman ses bilgisi silinerek yerine kript bilgisi yazılmasından dolayı ses kalitesinde ufak çapta düşüşler yaşanmaktadır.

Blank & Burst çerçeve grubu 24 çerçeveden oluşmasına karşın, Burst w/o Blank (B w/o B) uygulaması 25 çerçeveden oluşmaktadır. Dolayısıyla Burst w/o Blank uygulaması için gerekli kanal kapasitesi 2,4 kbps'den fazla (overhead)

olmaktadır. Aynı zamanda, MELP kodlanmış ses bilgilerinin üzerine kript senkronizasyon bilgisi yazılmadığı için ses kalitesi B&B'ye göre daha iyidir.

Açık MELP ses çağrı hizmeti görüşmesinde de ortaya çıkan yapı tıpkı B&B'de olduğu gibidir. Mesaj yine, biri SM (Synchronization Management, Senkronizasyon Yönetimi) çerçevesi olmak üzere toplam 24 çerçeveden oluşan çerçeve gruplarıyla yapılır. Ancak burada kriptolama yapılmadığından SM çerçevesinin başlık kısmından sonrası sıfır ile doldurularak mesaj gönderilir.

Ayrıca ister güvenli isterse açık olarak görüşen tüm FNBDT/SCIP uyumlu terminallerin DTX ve FCT durumları desteklemesi beklenmektedir. Bunlardan DTX; bir ses çağrısı sırasında, terminalin kullanıcısı konuştuğu sürece çerçeve gruplarının oluşturularak gönderilmesi, kullanıcı sustuğu ise gönderme yapmanın kesilmesi prensibini, FCT ise; ses çağrısı sırasında terminalin kullanıcısının sustuğu sürede de çerçeve gruplarının oluşturularak karşı terminale iletilmesi yani MELP kodlayıcı biriminin sürekli çalışmasını ifade etmektedir.

FNBDT/SCIP veri haberleşmesi iki tip hizmeti desteklemektedir. Bunlar "RT (Reliable Transport, Güvenli Aktarım)" Asenkron Veri Hizmeti ve "GT (Guaranteed Throughput, Garanti İş)" Asenkron Veri Hizmetleridir. RT Asenkron Veri hizmetinde, güvenli ses hizmetinde kullanılan sinyalizasyon mekanizmalarının aynısını kullanarak veri çağrısı başlatılır ve kanal kapasitesi %70 verimlilikle kullanılır. GT Asenkron Veri hizmeti ise kanal kapasitesinin tamamının kullanıldığı bir servistir [13, 14].

3. Uygulama Testinde Geçen Kavram/Tanımlar

FNBDT/SCIP Emulator: Laboratuvar ortamlarında cihazların karşılıklı çalışabilirliğini değişik senaryolar ve durumlar dahilinde test eden bir yazılım uygulamasıdır.

FNBDT/SCIP Tester: FNBDT/SCIP Emulator Yazılımının bir parçası olup, terminaller arası FNBDT/SCIP haberleşmesinin takip ve kontrol edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Modülün içerisinde test süresince haberleşmeye etki edilebilmesini (bozma, karıştırma, geciktirme vb.) sağlayan fonksiyonlar mevcuttur.

Bit Hata Oranı (BER, Bit Error Rate) : Belli bir zaman aralığında iletilen veri bitlerinden hatalı olanların, aktarılan toplam bit sayısına oranı olarak tanımlanmaktadır.

Veri Kaybı (Data Loss): Bit veya Bayt olarak hatalı aktarılan veri miktarının toplamda aktarılan veriye oranıdır. Uygulamada kanal simülatörü tarafından oluşturulan bu durumda bit kayıpları için bitler, bayt kayıpları içinse sekizli bit gruplarının rastlantısal olarak iletilmesi engellenerek veri kaybına yol açılmaktadır.

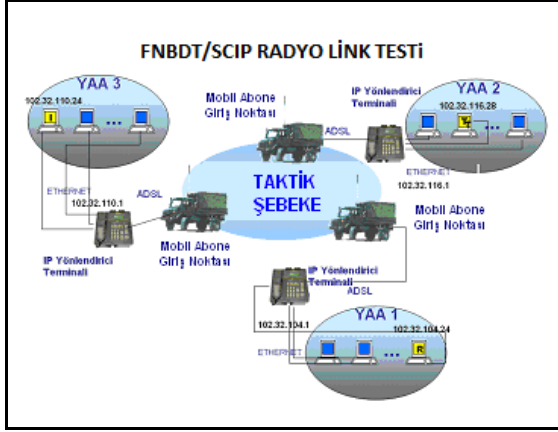
4. Uygulama İçin Kurulan Ağlar

Radyo Link ve Yerel Alan Ağları üzerinde; Çağrı Kurma, B&B Güvenli Ses Haberleşmesi, Bw/oB Güvenli Ses Haberleşmesi, RT Güvenilir Veri Haberleşmesi, GT Garantili

Veri Haberleşmesi olmak üzere beş ana başlık ve her ana başlığın altında bit hata oranı ve (bayt ve bit) veri kayıpları alt başlıkları altında FNBDT/SCIP testleri gerçekleştirilmiştir.

4.1. Radyo Link Ağı

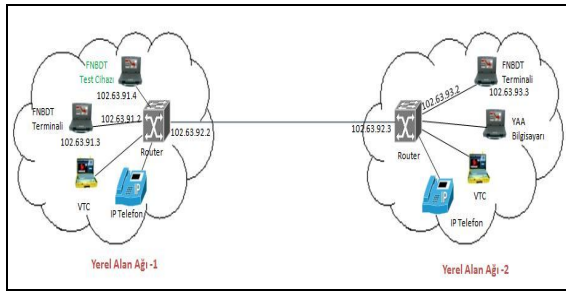
Şekil 3'de ayrıntıları görülen yapıda birbirinin aynısı üç adet Yerel Alan Ağı (YAA) oluşturulmuş, bu ağlar arasında kurulan FNBDT/SCIP haberleşmesi değişik durumlarda test edilerek sınır değerler elde edilmiştir.



Şekil 3: Uygulamanın Yapıldığı Radyo Link Ağı

Bunlardan YAA3 Başlatıcı, YAA1 Cevaplayıcı ve YAA2 ise Test Edici ortam olarak seçilmiştir. Başlatıcı üzerinden çağrı kurma, güvenli ses ve veri haberleşmesi başlatılmakta, bu haberleşme Cevaplayıcı ile karşılıklı olarak gerçekleştirilmektedir. Test Edici ortam, iki YAA arasında haberleşme sürerken değişik senaryolara göre haberleşme ortamından deneysel verilerin toplanması amacıyla kurulmuş ve kullanılmıştır. Gerekteğinde, her uç YAA da birbirinin aynı olduğundan, işlevlerinin birbirlerine aktarımı da mümkün olmuştur. Böyle bir yapılandırma, kullanılan emülatör yazılımının gerekleri doğrultusunda oluşturulmuştur.

4.2. Yerel Alan Ağı



Şekil 4: Uygulamanın Yapıldığı Radyo Link Ağı

FNBDT/SCIP protokolünün IP Yerel Alan Ağı üzerindeki davranışını incelemek amacıyla Şekil 4'de verilen IP test düzeneği laboratuvar ortamında kurulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi test düzeneği;

- Çağrıyı başlatan FNBDT/SCIP Terminali,

- Haberleşme ortamını test eden FNBDT/SCIP Test Cihazı,
- Çağrıyı cevaplayan FNBDT/SCIP Terminali,
- 3800 ve 2600 serili 2 adet Cisco Router'a sahip 2 adet Yerel Alan Ağından oluşmaktadır.

5. Elde Edilen Sınır Değerler ve Süreler

Farklı haberleşme ağları üzerinde uçtan uca emniyetli haberleşmenin yapılması amacıyla geliştirilen FNBDT/SCIP protokolü, emülatörler vasıtasıyla Radyo Link ve Yerel Alan Ağları üzerinde değişik açılardan test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda elde edilen sınır değerler ve bunlara ait süreler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelgede verilen sınır değer, çağrı kurulabilen veya haberleşme yapılabilen en yüksek hata/kayıp oranını ifade etmektedir. Elde edilen sınır değer ve süreleri ilgili standart değerler ile karşılaştırarak genel olarak değerlendirdiğimizde;

- Yerel Alan Ağında normal, hata ve kayıp oluşturmadan yapılan test işleminde, çağrı kurmaya ait sürenin Radyo Link ağları için belirlenen süreden daha az olması beklenirken bu durumun bazen sağlanmadığı, her iki ağda da hata ve kayıp oranlarını arttırdıkça çağrı kurma sürelerinin de genelde arttığı gözlenmiştir. Her iki ağ üzerinde yapılan çağrı kurma testlerine ait sınır değerler standartların tavsiye ettiği üst sınır değerlerden daha iyi olduğu tespit edilmiştir.
- Radyo Link ve Yerel Alan Ağları üzerinde FNBDT/SCIP ile yapılan testler sonucunda elde edilen B&B ve BwoB Ses, RT Güvenilir ve GT Garantili Veri Haberleşmelerine ait sınır değerler standartların tavsiye ettiği alt sınır aralığında, hatta daha iyi olduğu gözlenmiştir.

6. Sonuçlar

FNBDT/SCIP Protokolü Radyo Link ve Yerel Alan Ağları üzerinde ayrı ayrı test edilerek sınır değerler elde edilmiştir. Bu çalışma ile söz konusu uygulama sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Söz konusu değerlendirmede;

- Yerel Alan Ağı üzerindeki çağrı kurma sınır değerlerinin genelde daha küçük olduğu,
- Bit hata oranıyla çağrı kurma testlerinde her iki ağda elde edilen sonuçlarının benzerlik gösterdiği,
- Radyo Link Ağının bayt veri kaybıyla çağrı kurmaya karşı, Yerel Alan Ağının ise bit veri kaybıyla çağrı kurmaya karşı daha hassas olduğu,
- Her iki ağ üzerinde yapılan çağrı kurma testlerinde SOM mesajı olmadığında çağrının kurulmadığı,

Çizelge 1. FNBDT/SCIP'in Radyo Link ve Yerel Alan Ağları üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen sınır değerler

S.Nu	Yapılan Test	Elde Edilen Sınır Değerler ve Süreler				Açıklama
		Radyo Link		Yerel Alan		
		Sınır Değer	Süre (sn)	Sınır Değer	Süre (sn)	
1	Çağrı Kurma					Yerel Alan Ağda Çağrı Kurma Süresi Ortalama: 7,5-8,45 sn En fazla: 180 sn ITU-T Y.1530(11/2007) sf.4-6, 21, 24-25 [25].
2	Normal Çağrı Kurma	110 Mesaj	3,264	107 Mesaj	1,735	
3	Bit Hata Oranıyla Çağrı Kurma	% 0,05	100,094	% 0,05	105,641	
4	Bayt Veri Kaybıyla Çağrı Kurma	% 0,01	92,687	% 0,05	114,453	
5	Bit Veri Kaybıyla Çağrı Kurma	% 0,05	156,563	% 0,02	96	
6	Diğer Tür Veri Kayıpları ile Çağrı Kurma	SOM Mesajı		SOM Mesajı		
7	B&B/BwoB Ses Haberleşmesi					Kabul Edilebilir Hata ve Kayıp Aralığı $BER\ 10^{-6} - 10^{-4}$ $Veri\ Kaybı\ 10^{-5} - 10^{-3}$ ETSI TR 102 157 (2003-07) sf. 57-61, ETSI TS 102 462 (2006-12) sf. 43-44, ETSI TS 102 673 (2009-11) sf. 22, ITU-R S.522-5, sf. 1-2, ITU-R S.579-6, sf. 1-2, ITU-R S.614-4, sf. 28-33 [26-31].
8	BER'in B&B Ses Haberleşmesine Etkisi	% 0,1		0,1 %		
9	Bayt Veri Kaybının B&B Ses Haberleşmesine Etkisi	% 0,1		0,1 %		
10	Bit Veri Kaybının B&B Ses Haberleşmesine Etkisi	% 0,1		0,1 %		
11	RT Güvenilir Veri Haberleşmesi					
12	BER'in RT Güvenilir Veri Haberleşmesine Etkisi	% 0,05	74,814	% 0,03	81,562	
13	Bayt Veri Kaybının RT Güvenilir Veri Haberleşmesine Etkisi	% 0,03	670	% 0,05	796,296	
14	Bit Veri Kaybının RT Güvenilir Veri Haberleşmesine Etkisi	% 0,001		% 0,01	659,094	
15	GT Garantili Veri Haberleşmesi					
16	BER'in GT Garantili Veri Haberleşmesine Etkisi	% 0,1	11,265	% 0,1	2,001	
17	Bayt Veri Kaybının GT Garantili Veri Haberleşmesine Etkisi	% 0,1		% 0,1		
18	Bit Veri Kaybının GT Garantili Veri Haberleşmesine Etkisi	% 0,1		% 0,1		

- B&B ve BwoB Ses Haberleşmelerine ait test sonuçlarının paralellik gösterdiği,
- RT Güvenilir Veri Haberleşme testlerinde; bit hata oranına karşı Yerel Alan Ağının daha hassas olduğu, veri kayıplarına karşı ise Radyo Link Ağının daha hassas olduğu,
- GT Garantili Veri Haberleşmesinde elde edilen sınır değerlerin B&B ve BwoB Ses Haberleşme testlerinde olduğu gibi, benzerlik gösterdiği, Yerel Alan Ağı üzerinde bit hata oranıyla veri iletiminin daha kısa sürede gerçekleştiği tespit edilmiştir.

7. Kaynaklar

- [1] Daniel E. J., Teague K. A., "Performance of FNBDT and Low Rate Voice (MELP) over Packet Networks", Proc.35th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, 1568-1572, Pacific Grove, California, 4-7 (2001).
- [2] Daniel, E. J., Teague K. A., Sleezer R., Brewer J., Raymond W. J., Beck, J., Hershberger, "The Future Narrowband Digital Terminal", Proc. 45th IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems MWSCAS '2002, II-589-592, Stillwater/Tulsa, OK, (2002).
- [3] Daniel E. J., Teague K. A., "Simulation of FNBDT over Internet and 3G Wireless Networks", Proc. 45th IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems MWSCAS '2002, 330-333, 4-7 (2002).
- [4] Alvermann J. M., Kurdziel M. T., Furman W. N., "The Secure Communication Interoperability Protocol (SCIP) over An HF Radio Channel", MILCOM 2006, 1-4 (2006).
- [5] Gauche F., "An Approach of the Future Narrow Band Digital Terminal Protocol", Seventh International Conference on Computer Science and Information Technologies, 457-462, Yerevan, Armenia, (28) 2 (2009).
- [6] Daniel E. J., Teague K. A., "Federal Standard 2.4 kbps MELP Over IP", Proc.43rd. IEEE Midwest Symp. On Circuits and Systems, 8 (11): 568-571 (2000).
- [7] Tan E.C., Teo T.T., "Real-Time Implementation of MELP Vocoder", Journal of The Institution of Engineers, Singapore, Vol. 44 Issue 3, pp. 38-58, 2004.
- [8] McCree A. M., III, Barnwell T. P., "A 2400 bps Mixed Excitation LPC Vocoder", Conference Record IEEE Military Communications Conference MILCOM'92, (1) 381-384 (1992).
- [9] McCree A. M., III, Barnwell T. P., "Implementation and Evaluation of a 2400 bit/s Mixed Excitation LPC Vocoder", 1993 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing ICASSP-93, (2) 159-162 (1993).
- [10] Cree A. M., Barnwell T., "A Mixed Excitation LPC Vocoder Model For Low Bit Rate Speech Coding", IEEE Transaction of Acoustics, Speech, and Signal Processing, 3 (4): 242-250 (1995).

- [11] LUCK J., Details of FNBDT Signalling, SHAPE / NC3A FNBDT Workshop, The Hauge, (26) 1-41 (2003).
- [12] General Dynamics Communication Systems, FNBDT Signaling Plan (Revision 1.1), Needham, Eylül (1999).
- [13] Bozoklu, O., "Uyumlu ve Birlikte Çalışabilir Güvenli Muhabere Kapsamında NATO/SCIP Bünyesindeki Kripto Standartlarına Türkiye'nin Yaklaşımı", Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 99-110, 133-139 (2007).
- [14] Ören, Ö., "Geleceğin Darband Sayısal Terminali", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adapazarı, 3-54, (2005).
- [15] Gönen, S., "Taktik Saha Muhabere Sistemleri Arasında Müşterek Çalışabilirliğin Sağlanması: Uygulamalı Bir Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Teknoloji Yönetimi Ana Bilim Dalı, Ankara, 1-6 (2006).
- [16] Nazlıbilek, S., Bozoklu, O., Dilli, O., Koyuncu, M. ve Akçam, N., "Gelecek Nesil Terminal Cihazları İçin Farklı Şebekeler Üzerinden Uçtan Uca Emniyetli Haberleşmenin Sağlanması Üzerine Bir Uygulama", Mühendislik ve Teknoloji Ulusal Sempozyumu-1, Çankaya Üniversitesi, Ankara, Nisan (2008).
- [17] Dilli, O., Nazlıbilek, S., Bozoklu, O., Koyuncu, M. ve Akçam, N., "Farklı Şebekeler Üzerinden Uçtan Uca Emniyetli Haberleşmenin Sağlanması", Ağ ve Bilgi Güvenliği Ulusal Sempozyumu-2, EMO, Girne, Mayıs 2008.
- [18] Dilli, O., Nazlıbilek, S., Koyuncu, M., Akçam, N., ve Bozoklu, O., "Farklı Şebekeler Üzerinden Uçtan Uca Emniyetli Haberleşmede Sinyalleşme", Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO 2008, Bursa, Kasım (2008).
- [19] Dilli, O., Mert, M., Koyuncu, M., Nazlıbilek, S. ve Akçam, N., "SCIP (Secure Communication Interoperability Protocol)'in IP Ağları Üzerinde Uygulanması", 3. Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı, ISC TURKEY, Ankara, Aralık (2008).
- [20] Dilli, O., Akçam, N., Koyuncu, M., Nazlıbilek, S. ve Mert, M., "FNBDT/SCIP Protokolünün IP Ağında Uygulanması ve Çağrı Kurmaya Ait Sınır Değerlerin Elde Edilmesi", 5. Savunma Teknolojileri Kongresi, SAVTEK 2010, Ankara, 23-25 (2010).
- [21] Dilli, O., Akçam, N. ve Koyuncu, M., "FNBDT/SCIP Protokolünün Yerel Alan Ağında Uygulanması ve Sınır Değerlerin Tespit Edilmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25 (2) 275-283 (2010).
- [22] Dilli, O., "Gelecek Nesil Darbant Terminal Cihazlarının Farklı Şebekeler Üzerinde Testi ve Haberleşmeye Ait Sınır Değerlerin Elde Edilmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-18, 27-60, 118-133, (2011).
- [23] Dilli, O., Akçam, N., Koyuncu, M., "Determining the Limit Values in End-to-End Secure Communication within Satellite Network with FNBDT/SCIP", Energy Education Science and Technology Part A-Energy Science and Research, Volume 29, Issue 1, 627-642, April 2012.
- [24] Dilli, O., Akçam, N., M., Koyuncu, "Radyo Link ve Uydu Ağları Üzerinde Gelecek Nesil Dar Bant Terminal ile Yapılan Güvenli Haberleşme Test Sonuçları ve Değerlendirilmesi", 5. Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı, ISC TURKEY, Ankara, Mayıs (2012).
- [25] ITU, "Call Processing Performance For Voice Service In Hybrid Ip Networks", ITU-T Recommendation Y.1530 (11/2007), pp 4-6, 21-25, November 2007.
- [26] ETSI, "Satellite Earth Stations and Systems (SES); Broadband Satellite Multimedia; IP Interworking over satellite; Performance, Availability and Quality of Service", ETSI TR 102 157 V1.1.1 (2003-07), France, 57-61 (2003).
- [27] ETSI, "Satellite Earth Stations and Systems (SES); Broadband Satellite Multimedia (BSM); QoS Functional Architecture", ETSI TS 102 462 V1.1.1 (2006-12), France, 43-44 (2006).
- [28] ETSI, "Satellite Earth Stations and Systems (SES); Broadband Satellite Multimedia (BSM); Performance Parameters", ETSI TS 102 673 V1.1.1 (2009-11), France, 43-44 (2009).
- [29] ITU, "Allowable Bit Error Ratios at The Output of the Hypothetical Reference Digital Path for Systems in The Fixed-Satellite Service Using Pulse-Code Modulation for Telephone", ITU-R Recommendation S.522-5 1-2 (1994).
- [30] ITU, "Availability objectives for hypothetical reference circuits and hypothetical reference digital paths when used for telephony using pulse code modulation, or as part of an integrated services digital network hypothetical reference connection, in the fixed-satellite service operating below 15 GHz", ITU-R Recommendation S.579-6, 1-2 (2005).
- [31] ITU, "Allowable Bit Error Ratios at The Output of the Hypothetical Reference Digital Path for Systems in The Fixed-Satellite Service Using Pulse-Code Modulation for Telephon", ITU-R Recommendation S.614-4, 28-33 (2005).