

126960

**TCP PERFORMANSININ GPRS ÜZERİNDE
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Barbaros ÖZDEMİR
(504991180)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2002

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Günsel DURUSOY
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Osman Nuri UÇAN (İ.Ü)
Doç. Dr. Sedef KENT (İ.T.Ü)

B. Durusoy 25.6.2002
Osman Nuri Uçan
Sedef Kent

MAYIS 2002

126960

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinin oluşturulmasına Türkiye GSM operatörlerinden Telsim'in araştırma ve geliştirme laboratuvar çalışmaları sırasında karar verdim. Sayın Prof. Dr. Günsel Durusoy, tez çalışma konumu kabul etti ve tezimi tamamlayabilmek için araştırma biçimi ve teknik konularda bana yardım etti. Sayın Prof. Dr. Günsel Durusoy'a tez çalışmam sırasında göstermiş olduğu pozitif yaklaşımından ve sağladığı bilgilerden dolayı çok teşekkür ederim. Tezimi tamamlayabilmek için canlı hücresel telefon şebekesinde bir dizi test yapmak zorundaydım. Bu test imkanlarını bana tanıyan Telsim A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Akademik bakış açısıyla baktığım zaman, GPRS sistemi hakkında detaylı bilgi bulmak ve GPRS bağlantısı oluşturmak oldukça kolay oldu. Telsim'in aktif bir GPRS şebekesinin olması ve bu tezin konusuyla alakalı bir gerçekle yüz yüze gelmesi, bu tezin oluşturulması sırasında amirlerimin ve çalışma arkadaşlarımin da bana destek vermesini kolaylaştırdı. Bu imkanı bana tanıyan değerli amirlerime ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Tezimin son bulmasıyla elde ettiğim sonuçları, Telsim GPRS şebekesinde uygulamakla bana düşen görevi yerine getireceğime inanıyorum.

Tezimin oluşturulması sırasında yardımını esirgemeyen herkese bir kez daha teşekkür ederim.

Mayıs, 2002

Barbaros ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Araştırmanın Amacı	1
2. TCP/IP	3
2.1 TCP/IP'ye Genel Bakış	3
2.2 TCP/IP Temel Yapısı	4
2.3 TCP/IP Terminolojisi	5
2.3.1 TCP/IP'de bilgi akışı	5
2.3.2 İki ağ arabirimi	6
2.3.3 UDP protokolü	7
2.3.4 UDP portları	8
2.3.5 TCP protokolü ve portlar	8
2.4 TCP Protokolünün Detaylı Analizi	8
2.4.1 TCP protokolünün diğer protokollerle ilişkisi	9
2.4.2 TCP başlık bilgisi	9
2.5 TCP/IP ve Gecikme	11
2.5.1 TCP'de güvenilirlik	11
2.5.2 Gecikmenin kaynakları	14
2.5.2.1 Bağlantı katmanında hata düzeltilmesi	14
2.5.2.2 Yeni hücreye geçiş(handover)	14
2.5.2.3 Yüksek öncelikli trafikten gelen engelleme	15
2.5.3 TCP'nin gecikmeye olan reaksiyonu	15
2.5.4 Canlı şebekede gecikme	15
2.6 TCP Protokolünün Yüksek Gecikmeli Dar Bant Kanalda Performansı	16
3. GPRS GENEL	18
3.1 GPRS'in Önemli Kullanıcı Özellikleri	19
3.1.1 GPRS'de hız	19
3.1.2 Hızlı ve sürekli bağlantı	19

3.1.3 Yeni uygulamalar	19
3.1.4 Servis ulaşımı	20
3.2 GPRS Şebekesinin Önemli Noktaları	21
3.2.1 Paket bağlaşımı	21
3.2.2 Efektif spektrum	21
3.2.3 İnternet uyumu	22
3.3 GPRS' deki Sınırlar	22
3.3.1 Kullanıcılar için sınırlı hücre kapasitesi	22
3.3.2 Pratikte hız	22
3.3.3 Modülasyon	23
3.3.4 Taşıma gecikmesi	23
3.5 GPRS Sistem Yapısı	23
3.5.1 GSM sistem yapısı	24
3.5.2 GSM adreslemesi ve belirteçleri	24
3.5.3 GPRS sistem yapısı ve elemanları	25
3.5.4 GPRS servis kalitesi	27
3.5.5 Paket ve devre bağlaşmalı servisler	27
3.5.6 Bağlantı ve oturum yönetimi	28
3.5.6.1 GPRS şebekesine kayıt olma/silinme	28
3.5.6.2 Bağlantı yönetimi ve PDP kaydı	28
3.5.7 GPRS hava arayüzü ve fiziksel katman	28
3.5.8 GPRS'de mantıksal kanallar	29
3.5.8.1 GPRS paket bilgi kanallarının fiziksel kanallara paylaştırılması	30
3.5.9 GPRS'de kanal kodlaması	30
3.5.10 GPRS'de protokol yapısı	30
3.6 GPRS ve IP Şebekesi	32
3.7 GPRS'de Gecikme	33
3.7.1 Uçtan uca gecikmenin teorik olarak hesaplanması	33
3.7.2 Yukarı yönde gecikme	34
3.7.3.Aşağı yönde gecikme	36
3.7.4 GPRS şebekesinde RTT	38
3.7.5 RTT' yi etkileyen parametrelerin etkileme yüzdesi	40
4. KABLOSUZ ŞEBEKEDİ TCP OPTİMİZASYONU	41
4.1 TCP ve kaybolan paket işareti	41
4.2 Kablosuz şebeke özellikleri	42
4.3 Kablosuz şebekelerde TCP performansını etkileyen faktör	44
4.4 TCP performansının GPRS üzerinde iyileştirme teknikleri	44
4.4.1 Bağlantı katmanı yaklaşımı	45
4.4.2 Yazılım seviyesinde aktarım katman yedekleme yaklaşımı	45
4.4.2.1 Snoop protokolü	45

4.4.3 Yazılım seviyesinde çapraz katman işaretleşme yaklaşımı	48
4.4.3.1 Belirgin tıkanıklık bilgilendirilmesi	48
4.4.3.2 Belirgin kötü durum bilgilendirilmesi	49
4.4.3.3 Belirgin kayıp bilgilendirilmesi	49
4.4.3.4 Çeşitli paket alındı bilgilendirilmesi	50
4.4.3.5 Gezicilik işlemi uygulamalı TCP geliştirilmesi	50
4.4.4 Donanım seviyesinde aktarım katmanı yedekleme yaklaşımı	51
4.4.4.1 Direkt olmayan TCP	51
4.4.5 Uçtan uca aktarım katmanı yedekleme yaklaşımı	52
4.4.5.1 Donuk TCP	53
4.4.5.2 WTCP	53
4.4.5.3 TCP santa cruz	54
4.4.5.4 WWP	55
4.4.5.5 M-TCP	55
4.4.5.6 TCP seçimsel bildirim	56
4.4.5.7 TCP westwood	56
4.4.5.8 Hızlı düzeltme	57
4.4.5.9 Eifel algoritması	57
4.5 Optimizasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması	58
5. TCP PERFORMANSININ PARAMETRE OPTİMİZASYONU İLE İYİLEŞTİRİLMESİ	61
5.1 TCP/IP Performansının GPRS Üzerinde analizi	61
5.1.1 Şebekenin boyutlandırılması ve genel anlamda TCP optimizasyonu	61
5.2 GPRS’de Hız Analizi	63
5.2.1 GPRS’de teorik hızlar	63
5.3 GPRS için TCP Parametre Optimizasyonu	65
5.3.1 Alıcı taraf tıkanıklık pencere büyüklüğü	65
5.3.2 GPRS’de aktarım zamanı	66
5.3.3 Tekrar gönderme zamanlayıcısı eşik değeri	68
5.3.4 MTU büyüklüğü	70
5.4 C/I dağılımı	72
5.5 TBF’in performansa etkisi	75
6. SONUÇ ve TARTIŞMA	76
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	80

KISALTMALAR

ACK	: Acknowledgement
ARP	: Address Resolution Protocol
ARQ	: Automatic Repeat Request
AUC	: Authentication Center
BER	: Block Error Rate
BCCH	: Broadcast Control Channel
BSC	: Base Station Controller
BSS	: Base Station Sub System
BTS	: Base Transceiver Station
C/I	: Carrier to Interference Ratio
CCCH	: Common Control Channel
CRR	: Connection Request Response
DHCP	: Dynamic Host Convergence Protocol
DUBACK	: Double Acknowledgement
GGSN	: Gateway GPRS Support Node
GMSK	: Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	: General Packet Radio System
GSM	: Global System for Mobile
GTP	: GPRS Tunneling Protocol
EDGE	: Enhanced Digital GSM Evaluation
EIR	: Equipment Identity Register
ENET	: Ethernet
FEC	: Forward Error Correction
FTP	: File Transfer Protocol
HLR	: Home Location Register
HTTP	: Hyper Text Transfer Protocol
ICMP	: Internet Control Management Protocol
IMEI	: International Mobile Equipment Identity
IMSI	: International Mobile Subscriber Identity
ISDN	: Integrated Switching Digital Network
IP	: Internet Protocol
KD	: Kodlama Düzeni
LA	: Location Area
LAN	: Local Area Network
LLC	: Logical Link Control
MS	: Mobile Station
MSC	: Mobile Switching Center
MSISDN	: Mobile Subscriber ISDN Identity
MSR	: Mobile Support Router
MSS	: Message Segment Size

MTU	: Message Transfer Unit
NACK	: Negative Acknowledgement
PC	: Personal Computer
RFL	: RF Layer
RLC	: Radio Link Control
RR	: Request Response
RTO	: Retransmission Timeout
RTT	: Round Trip Time
PBCCH	: Packet Broadcast Control Channel
PCCH	: Packet Common Control Channel
PCU	: Packet Control Unit
PDCCH	: Packet Data Control Channel
PDTCH	: Packet Data Traffic Channel
PL	: Physical Layer
PLMN	: Public Land Mobile Network
PSTN	: Packet Switching Telephone Network
SACK	: Selective Acknowledgement
SGSN	: Servicing GPRS Support Node
SMS	: Short Message Services
SNMP	: Simple Network Management Protocol
TBF	: Temporary Block Flow
TDMA	: Time Division Multiple Access
TS	: Timeslot
TCP	: Transmission Control protocol
UDP	: User Datagram Protocol
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
VLR	: Visitor Location Register
WAP	: Wireless Application Protocol
WWW	: World Wide Web

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1 : Yukarı yönde TBF oluşturma.....	35
Tablo 3.2 : GPRS arabirimlerindeki gecikmeler(yukarı yön).....	36
Tablo 3.3 : Aşağı yönde TBF oluşturma.....	37
Tablo 3.4 : GPRS arabirimlerindeki gecikmeler(aşağı yön).....	37
Tablo 3.5 : Yukarı yönde RTT.....	38
Tablo 3.6 : Aşağı yönde RTT.....	39
Tablo 3.7 : Yukarı yönde gecikme sonuçları.....	39
Tablo 3.8 : Aşağı yönde gecikme sonuçları.....	39
Tablo 3.9 : Yukarı yönde gecikme sonuçları-2.....	39
Tablo 3.10 : RTT deney sonuçları.....	40
Tablo 4.1 : Performans geliştirici tekniklerin karşılaştırılması.....	59
Tablo 5.1 : GPRS’de teorik hızlar.....	64
Tablo 5.2 : GPRS’de tıkanıklık pencere büyüklüğü.....	67
Tablo 5.3 : GPRS’de RTO değeri değişimi.....	69

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Temel TCP/IP ağ noktası.....	4
Şekil 2.2 : N/1 çoğullayıcı ve 1/n bütünleştirici.....	5
Şekil 2.3 : TCP/IP ağ noktası / 2 Ethernet üzerinde.....	6
Şekil 2.4 : IP paketinin alınması.....	7
Şekil 2.5 : Protokol ilişkileri.....	9
Şekil 2.6 : TCP başlık formatı.....	10
Şekil 2.7 : TCP’de hata ve akış kontrolü(TCP reno protokolü).....	13
Şekil 3.1 : GSM Sistem yapısı ve elemanları.....	23
Şekil 3.2 : GPRS sistem yapısı ve arabirimler.....	25
Şekil 3.3 : GPRS protokol yapısı.....	31
Şekil 3.4 : GPRS ve IP şebekesi	32
Şekil 3.5 : GPRS gecikmesindeki etkili elamanlar.....	34
Şekil 3.6 : RTT değerine parametrelerin etkisi.....	40
Şekil 4.1 : Snoop/TCP performans oranının BER değerine göre değişimi.....	48
Şekil 5.1 : Aktarılan bilgi boyutuna göre hız.....	70
Şekil 5.2 : MTU büyüklüğüne göre GPRS’de hız.....	71
Şekil 5.3 : C/I dağılımının GPRS bağlantı performansına etkisi.....	73
Şekil 5.4 : C/I dağılımının kodlama düzeni seçimine etkisi.....	74

SEMBOL LİSTESİ

Dl gecikme	: Aşağı yönde gecikme
RTT _{yukarı yönde}	: Yukarı yönde RTT
RTT _{aşağı yönde}	: Aşağı yönde RTT
TCH	: CommHub transit zamanı
TCH-GGSN	: CommHub ile GGSN arasındaki transit zamanı
TCH-PC2	: CommHub ile PC2 arasındaki transit zamanı
TCH-SGSN	: CommHub ile SGSN arasındaki transit zamanı
TGGSN	: GGSN transit zamanı
TGGSN-CH	: GGSN ile CommHub arasındaki transit zamanı
TMS	: MS transit zamanı
TMS-PC1	: MS ile PC1 arasındaki transit zamanı
TMS-PCU	: MS'den PCU'ya aktarım zamanı
TPC2-CH	: PC2 ile CommHub arasındaki transit zamanı
TPCU	: PCU transit zamanı
TPCU-MS	: PCU'dan MS'e aktarım zamanı
TPCU-SGSN	: PCU ile SGSN arasındaki aktarım zamanı
TSGSN	: SGSN transit zamanı
TSGSN-CH	: SGSN ile CommHub arasındaki transit zamanı
TSGSN-PCU	: SGSN ile PCU arasındaki aktarım zamanı
Ul gecikme	: Yukarı yönde gecikme

TCP PERFORMANSININ GPRS ŞEBEKESİ ÜZERİNDE GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada kablosuz şebekede TCP performansını arttıran, Snoop protokolü SACK, I-TCP ve benzeri tekniklerin GPRS şebekesindeki kullanımı incelenmiş; bu tekniklerin TCP performansını pozitif veya negatif olarak % 5-6 seviyesinde etkilediği tespit edilmiştir. Bu teknikler, canlı GPRS şebekesinde, bazı servis sağlayıcıların geliştirdiği sunucular kullanılarak uygulanmıştır. Kablosuz şebekelerin bağlantı özelliklerinin ve TCP algoritmasının detaylı incelenmesiyle, kablosuz şebekede TCP performansını düşüren problemlerin kaynağı tespit edilmiştir. Bu problemleri ortadan kaldırmak için uygun parametre optimizasyonu yapılması gerektiği görülmüştür. TCP performansını GPRS şebekesi üzerinde arttırmak için MTU büyüklüğü, aktarılan bilgi boyutu, C/I dağılımı ve GPRS TBF oluşturma/öldürme zamanı gibi parametrelerin optimizme edilmesi gerektiği görüşüne varılmıştır. Her bir parametrenin, efektif bir bağlantıda olması gereken optimum değerini bulabilmek için, gerçek bir GPRS şebekesi kullanılarak bir çok defa TCP bağlantısı yapılmıştır. Yapılan testlerde parametrelerin optimum değerlerini bulmak amacıyla, GPRS telefonu ve bilgi aktarımı için uygun bir sunucudan yararlanılmıştır. Uygulama olarak TCP protokolünün en çok kullanıldığı FTP ve HTTP bağlantıları kullanılmış; her parametre için optimum değerler tespit edilmiştir. Bu optimum değerler tanımlanarak yapılan bağlantılarda, GPRS şebekesinde mümkün teorik maksimum hızlara çok yakın hızlara erişebildiği tespit edilmiştir. GPRS şebekesinde. Sonuç olarak, optimum hale getirilmiş TCP ve GPRS parametrelerinin, mobil istasyon ve baz istasyonda bir çok revizyona ihtiyaç duyan performans arttırıcı tekniklerden daha iyi performans sağladığı saptanmış; iyi optimizme edilmiş GPRS şebekesi ve buna uygun TCP parametrelerinin efektif bir TCP bağlantısı için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

ENHANCING TCP PERFORMANCE OVER GPRS NETWORK

SUMMARY

In this study, the performance of the techniques such as Snoop protocol, SACK, I-TCP that enhance TCP performance in wireless network, has been investigated; it is estimated that these techniques effect TCP performance 5-6. % negatively or positively. These techniques have been implemented at GPRS network by using server supported by some service providers. The source of the performance degrading problem has been found out by analyzing TCP protocol algorithm and connection specific problems at wireless networks. In order to fix the problems, suitable parameter optimization has to be managed. It is being put forward that MTU size, transferred data size, C/I distribution and TBF setup/release time have to be optimized to improve TCP performance over GPRS. In a real GPRS network, lots of TCP connection has been established to find out the optimum value for each of these parameters. Because of finding optimum values for these parameters, GPRS mobile phone and suitable server for data transmission have been used. FTP and HTTP connection, which being widely used by TCP, have been used as application protocol. As a result of the tests, the optimum values for parameters have been estimated. In the connections by using these optimum values, the speeds, which are so close to theoretical maximum speeds at IP level in GPRS network, have been measured. Therefore, I found out that optimized TCP parameters and GPRS network, supply better performance than the performance enhancing techniques which require so many modifications at mobile station and base station; GPRS network that has been optimized well and suitable TCP parameters for that network are good enough for a effective TCP connection.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Tartışmanın Amacı

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kablolu ağ'larda haberleşen diz üstü bilgisayarları, cep telefonları ve kişisel cep bilgisayarları çok yaygınlaşmıştır. Bu aletler aynı zamanda kablosuz ağ'ları kullanarak da haberleşmektedirler. Özellikle kablosuz ağ'da bilgi aktarımı son yıllarda çok popüler hale gelmiştir. GPRS sistemi kablosuz ağ'daki bu talebi karşılamak için geliştirilmiş bir sistemdir. GSM altyapısını kullanarak paket bağlaşımı yapan GPRS şebekesi, GSM'in sunduğu saniyede 9600 oktet bilgi aktarımına karşın saniyede 100000 oktet'e çıkan bilgi aktarımına imkan tanımaktadır. GPRS'in sağladığı en popüler servis Internet uygulamalıdır. Kablosuz ağ'da gerçekleştirilen bir çok uygulama güvenilir bilgi aktarımına ihtiyaç duyar. TCP bağlantı yönelimli, güvenilir bir aktarım protokolüdür. Sayıları milyonlara varan bir çok ağ uygulamaları TCP protokol tabanında sağlanmaktadır. Dolayısıyla GPRS sistemi kullanılarak gerçekleştirilen uygulamaların çoğunlukla TCP protokolünü kullanması kaçınılmazdır. Bunun anlamı, iyi bir bağlantı performansının sağlanabilmesi için GPRS ile TCP/IP protokolünün efektif bir etkileşim içinde olması gerekliliğidir.

TCP kablolu ağ'lar için geliştirilmiş bir protokoldür ve paket kayıplarının tıkanıklıktan kaynaklandığı üzerine geliştirilmiş bir algoritması vardır. Buna karşın kablosuz ağ'da paket kaybının tıkanıklık haricinde bir çok farklı nedeni vardır. Kablosuz ağ'da TCP performansını arttırdığı öne sürülen bir çok teknik geliştirilmiştir. Bu araştırmanın amacı TCP performansını GPRS şebekesi üzerinde iyileştirmek için optimum teknik veya geliştirilenin bulunmasıdır.

Bu amacı gerçekleştirmek için analiz edilen konular, teknikler ve performansı arttırmak için uygulanması gereken yöntem ve parametre optimizasyonları bundan sonraki konuların içinde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Araştırmanın genelinde TCP/IP protokolleri ve GPRS şebekesi hakkında bilgi edinilmiş, TCP/IP bağlantı performansını etkileyen anahtar parametreler analiz edilmiştir.

Kablosuz şebekede TCP performansını arttıran tekniklerin GPRS şebekesi üzerindeki performansı araştırılmış ve performansı arttırmak için öne sürdüğüm parametre optimizasyonu ile ilgili araştırma yapılmıştır.



2. TCP/IP

Bu bölümde TCP/IP(Transmission Control Protocol, Internet Protocol) protokollerinin önemli noktaları ve TCP/IP teknolojisinin yalın olarak incelenmesi hedeflenmektedir. Tarihçe, gelişim ve kullanım alanlarına yönelik herhangi bir bilgi ve TCP/IP protokollerinin özelliklerinin OSI modeli olan karşılaştırılması yer almamaktadır. TCP/IP alanında profesyonel çalışma için gerekli olan minimum bilginin verilmesi hedeflenmektedir. Bu bölümde verilen örnekler Unix TCP/IP alanında verilmiştir ve ana noktalar bütün TCP/IP uygulamaları için ortaktır.

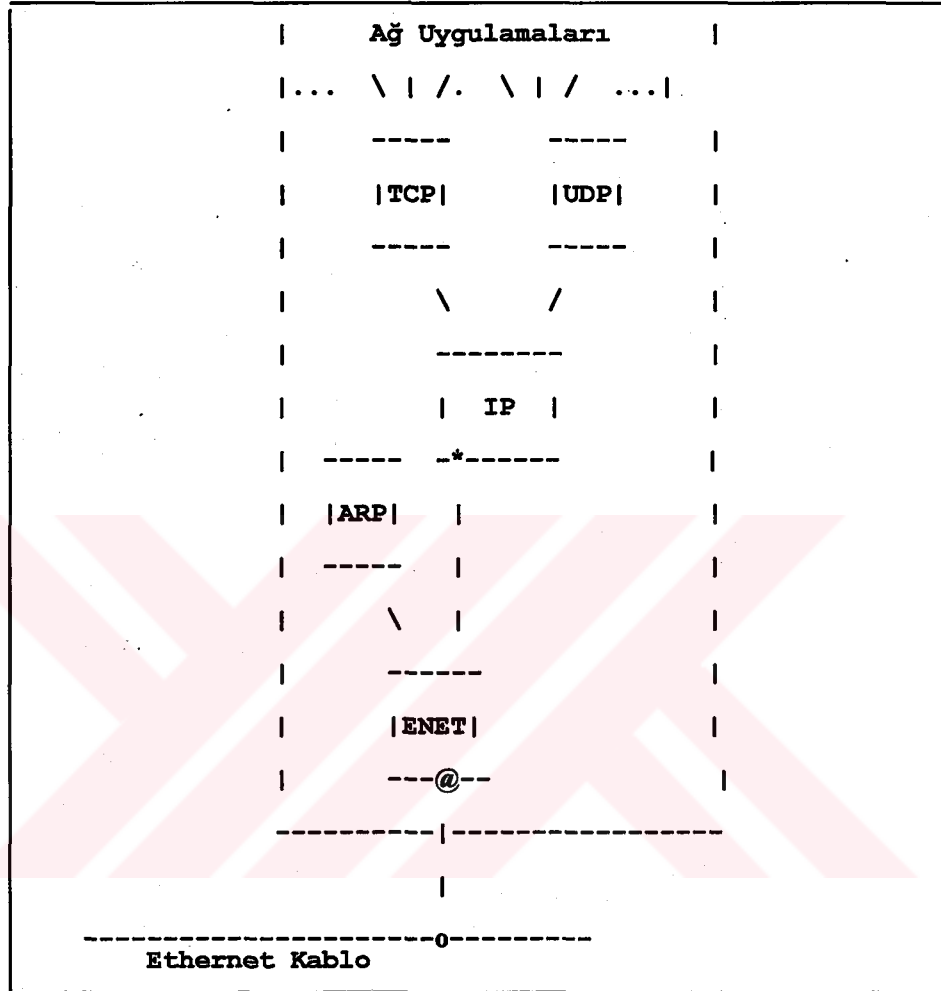
2.1 TCP/IP'ye Genel Bakış

Genel anlamda TCP/IP demek TCP ve IP protokolleri ile ilgili her şey demektir. TCP/IP aynı zamanda diğer protokolleri , uygulamaları ve ağ durumunu da kapsamaktadır. Bu protokollere örnek olarak UDP, ARP ve ICMP verilebilir. Uygulamalara örnek olarak TELNET, FTP ve RCP gösterilebilir. Genel terim olarak Internet teknolojisi olarak adlandırılır. Ve Internet teknolojisini kullanan ağ'lara Internet denilir. TCP/IP protokol yapısını kullanan milyonlarca özel bilgisayar ve sayıları yüz binlere varan ağlar vardır. Diğer bir çok protokolda olduğu gibi, TCP/IP de katmanlı bir protokoldür. Her katman, bir alt katmandan gelen bilgiye kendi fonksiyonel bilgisini ekler. Katmanlı yapıdaki protokollerin en büyük avantajlarından biri, yeni bir uygulama için bütün protokol yapısının değiştirilmesine gerek olmamasıdır. Sadece uygulama katmanında yapılacak revize ile yeni uygulama desteklenebilir [14].

Bundan sonraki bölümlerde, TCP/IP protokol yapısı içersindeki protokoller hakkında bilgi verilecektir. Araştırmamız gereği, TCP/IP protokol yapısındaki TCP protokolünün algoritması üzerinde daha çok durulacaktır.

2.2 TCP/IP Temel Yapısı

TCP/IP teknolojisini anlamak için aşağıdaki temel yapının anlaşılması gerekmektedir.



Şekil 2.1 Temel TCP/IP Ağ Noktası

Bu yapı Internet üzerindeki herhangi bir bilgisayarda bulunan protokol katmanlarının yapısıdır. Internet teknolojisi ile haberleşen her bilgisayarda bu yapının bulunması şarttır. Bu yapı bilgisayarın Internet teknolojisindeki işleyişini tanımlar. Kutular, bilginin bilgisayar içersinde işlenirken geçtiği katmaları göstermektedir. Kutuları birbirine bağlayan çizgiler ise bilginin akışını göstermektedir. En alttaki yatay çizgi Ethernet kablosunu temsil etmektedir. Ve bu çizgide bulunan "o" işareti alıcı/vericiyi temsil etmektedir. Şekilde bulunan "*" IP adresini, @ ise Ethernet adresini temsil eder.

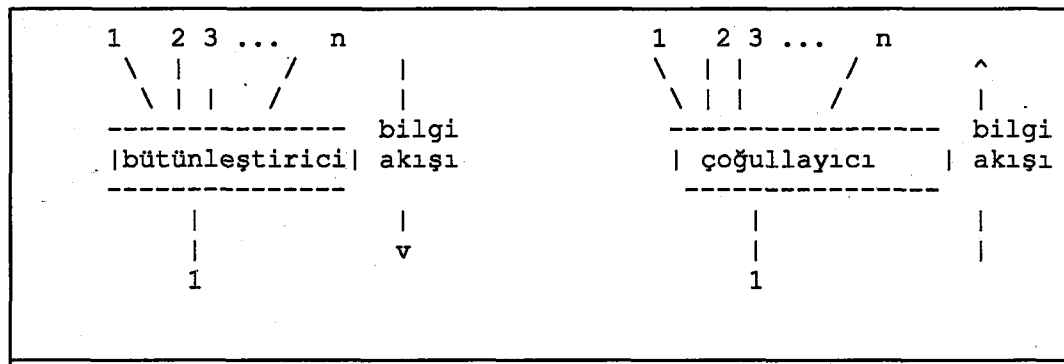
2.3 TCP/IP Terminolojisi

Internet üzerinde akan bilginin biriminin ismi, hangi protokol katmanlarında olduğuna göre değişmektedir. Özet olarak; bilgi Ethernet katmanında ise Ethernet çerçevesi, Ethernet sürücü ile IP modülü arasında ise IP paketi, IP modülü ile UDP katmanı arasında ise UDP datagramı, ve IP modülü ile TCP katmanı arasında ise TCP segment'i yada genel anlamda taşıma paketi olarak adlandırılır. Eğer ağ uygulamalarında ise uygulama mesajı olarak adlandırılır. Sürücü(driver), ağ arabirimi donanımı ile haberleşen bir yazılımdır. Modül, ağ uygulamaları veya diğer modülleri kullanarak sürücü ile haberleşen bir yazılımdır.

2.3.1 TCP/IP'de Bilgi Akışı

TCP protokolünü kullanan bir uygulamada bilgi, uygulama katmanından TCP katmanına, UDP protokolünü kullanan bir uygulamada bilgi uygulama katmanından UDP katmanına geçer. FTP(File Transfer Protocol, Dosya transfer protokolü) uygulaması TCP'yi kullanan bir uygulamadır. Bu uygulamanın protokol yığını FTP/TCP/IP/ENET olarak verilebilir. SNMP(Simple Network management Protocol, Basit Ağ Yönetim Protokolü) uygulaması UDP'yi kullanan bir uygulamadır. Bu uygulamanın protokol yığını SNMP/UDP/IP/ENET'dir [15].

TCP modülü, UDP modülü ve Ethernet sürücüsü n/1 çoğullayıcı veya 1/n bütünleştirici olarak davranırlar. Çoğullayıcı olarak tek bir girdiyi protokol katmanı başlığındaki bilgiye göre birden fazla çıktıya dönüştürmektedir. Şekil 2.2'de bu yapı mevcuttur.



Şekil 2.2 N/1 Çoğullayıcı ve 1/N Bütünleştirici

Eğer bir Ethernet çerçevesi ağ'ın Ethernet sürücüsüne gelirse, paket ARP(Adress Resolution Protocol, Adres Çözümleme Protokolü) yada IP modülüne aktarılır. Ethernet çerçevesinin tip alanındaki değere göre bu aktarım gerçekleşir.

IP modülüne aktarılan IP paketi, IP başlığındaki protokol alanındaki değere göre UDP yada TCP modülüne aktarılır.

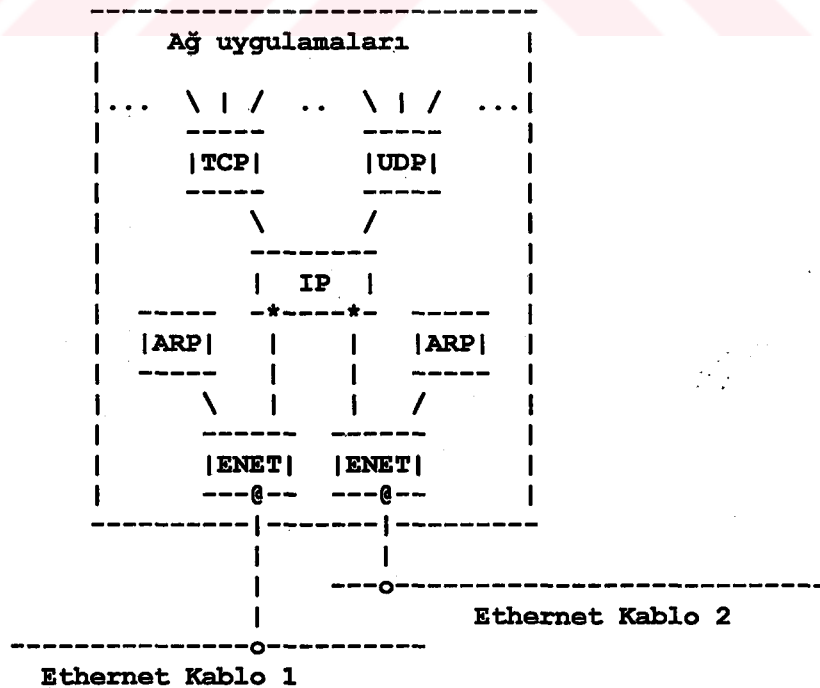
UDP protokolüne gelen UDP datagramındaki uygulama mesajına göre uygulama bilgisi uygulama katmanına aktarılır. TCP protokolüne gelen TCP datagramındaki uygulama mesajına göre uygulama bilgisi uygulama katmanına aktarılır.

Uygulama katmanından geçen bilgi TCP yada UDP katmanında birleştirildikten sonra, gerekli aşağı katman sürücüler ile aşağıdaki katmanlara yönlendirilir.

Bilgisayarlar 4 oktet uzunluğundaki IP adreslerine sahiptirler. Ve bu IP adresleri her bilgisayar için tektir. Çalışan bir bilgisayar onun IP ve Ethernet adresini bilir.

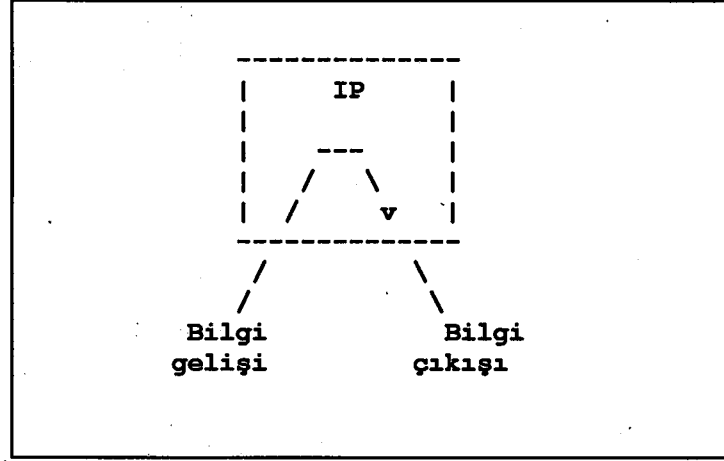
2.3.2 İki Ağ Arabirimi

Bir bilgisayar 2 farklı Ethernet'e bağlanırsa, bu bilgisayarın 2 tane IP adresi ve 2 tane Ethernet adresi vardır. Şekil 2.3'de iki adet IP adresi olan bir TCP/IP ağ noktasının protokol yapısı mevcuttur [14].



Şekil 2.3 TCP/IP Ağ Noktası / 2 Ethernet Üzerinde

IP paketinin bir ağ'dan başka bir ağ'a iletilmesi işlemi IP paket aktarılması olarak bilinmektedir. IP paket aktarılması ile görevlendirilmiş bilgisayar IP router olarak adlandırılır.



Şekil 2.4 IP Paketinin Aktarılması

Şekil 2.4'den anlaşıldığı üzere, aktarılan IP paketi TCP yada UDP katmalarına ulaşmadan sadece IP katmanı seviyesinde işlenerek aktarılır.

IP modülü Internet teknolojisinin yapı taşıdır. Her modül yada sürücü işlenen mesaja kendi başlık bilgisini ekler ve bir alttaki modüle gönderir. IP başlığında IP adresi vardır. Ve bu IP adresi bir çok fiziksel ağ'dan tek bir mantıksal ağ kurmaya yeterlidir. Bir çok fiziksel ağ'ın birbirleriyle olan ilişkileri Internet teknolojisini oluşturmaktadır.

2.3.3 UDP Protokolü

UDP protokolü IP protokolü üzerinde koşan ana protokollerden biridir. Kullanıcı ağ uygulamalarına servis verir. UDP'nin desteklediği ağ uygulamalarına örnek olarak, NFS(Network File System, Ağ Dosya sistemi) ve SNMP(Simple Network Management, Basit ağ işletimi) gösterilebilir. UDP bağlantısız yönelimli bir protokoldür ve paketleri dağıtma garantisi yoktur. UDP başka bir UDP protokolüyle uçtan uca bağlantıyı desteklemez. UDP protokolü IP protokolünün sağladığı bilgiye iki tane bilgi eklemektedir. Bunlardan birisi port numarasına göre paketlerin bütünleştirilmesi bilgisi, diğeri ise bilgi kontrol alanıdır [14].

2.3.4 UDP Portları

UDP protokolü ile uygulamalar arasındaki iletişim yolu UDP portlardır. Portlar numaralandırılırlar. Bir servis sunan uygulamanın sunucu tarafından başlatılması için sunucudan o uygulama ile ilgili olan port numarasının talep edilmesi gerekmektedir. Örnek olarak, SNMP uygulamasının başlatılması için gerekli port numarası 161'dir.

2.3.5 TCP Protokolü ve Portlar

TCP protokolü UDP'den farklı bir servis sunmaktadır. TCP bağlantı yönelimli bir protokoldür ve paketleri dağıtma garantisi vardır. TCP tarafından desteklenen ağ uygulamalarına örnek olarak FTP ve TELNET verilebilir [15]. TCP protokolünün yüksek kapasiteli oluşunun bedeli daha güçlü işlemci ve daha fazla bant genişliği gerekliliğidir.

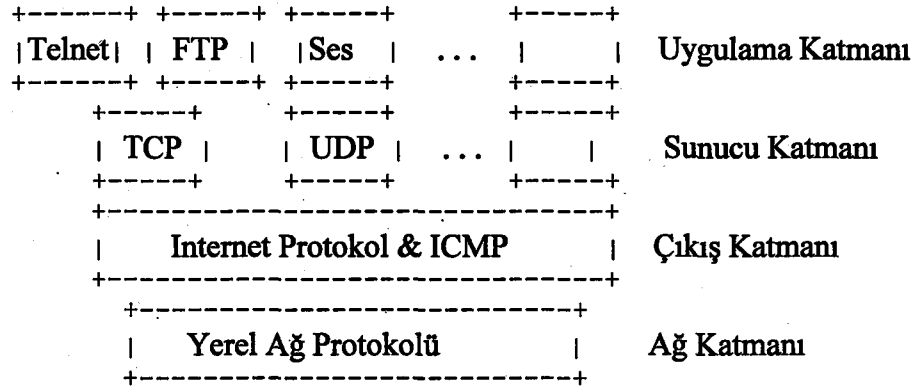
UDP'de olduğu gibi ağ uygulamaları TCP portlarına bağlanırlar. Çok bilinen uygulamaların port numaraları, TELNET için 23 ve FTP için 21 dir.

2.4 TCP Protokolünün Detaylı Analizi

TCP protokolü, iletişim ağ'larındaki paket bağlaşmalı bilgisayarlar tarafından kullanılan yüksek güvenilir bir protokoldür. TCP'nin altındaki protokollerde güvenilirlik konusunda bir kaç varsayım işlemi uygulanır. TCP protokolü, kendisine gelen paketlerin güvenilir olmadığı mantığına göre oluşturulmuş ve güçlendirilmiştir. TCP protokolünün yeteneklerinden bahsedildiğinde şunlar sıralanabilir; ana bilgi transferi, doğrulama, akış kontrolü, çoğullama, bağlantılar, öncelik ve güvenilirlik. TCP'nin bağlantı yönelimli bir protokol olması, bağlantı sırasında akış ve hata kontrolünün bizzat TCP protokolü tarafından yapıldığının göstergesidir. Bundan sonraki konularda TCP protokolünün diğer protokollerle olan ilişkisi ve TCP protokolünün bit alanlarının incelenmesi hedeflenmektedir.

2.4.1 TCP Protokolünün Diğer Protokollerle İlişkisi

Şekil 2.5’de TCP’nin protokol hiyerarşisindeki yerini görebilirsiniz.

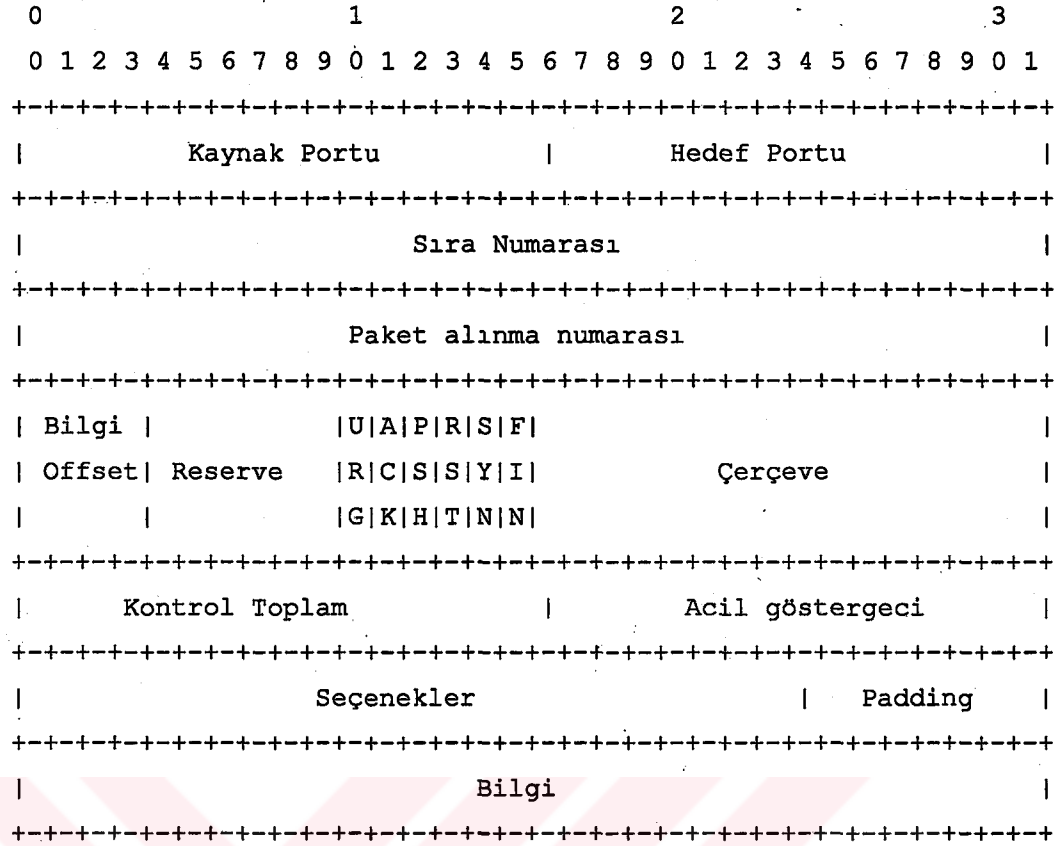


Şekil 2.5 Protokol İlişkileri

TCP’de transmisyonun doğruluğu sıra numarası ve paketin alındığının bildirilmesiyle sağlanır. Bilginin her bir oktet’ine bir sıra numarası(sequence number) verilir. Bir segment’in içersindeki bilginin ilk oktet’inin sıra numarası bu segmentin sıra numarası olarak bildirilir ve bu segmentle gönderilir. Yollanan bu segment’de paket alınma numarası(acknowledgment number) bilgisi de gönderilir. Paket alınma numarası ters yönde beklenen bilginin ilk oktetinin sıra numarasıdır. TCP, içersinde bilgi olan bir segment gönderdiğinde, bu bilgiyi tekrar gönderme kuyruğuna(retransmission queue) koyar ve kronometreyi çalıştırır. Paketin alındı bilgisinin gelmesiyle birlikte, tekrar gönderme kuyruğunda tutulan bu bilgi silinir. Eğer paketin alındığının bilgisi belirli bir süre içersinde gelmezse, tekrar gönderme kuyruğundaki bilgi tekrar gönderilir. Bilgi akışını yönetmek için, TCP bir akış kontrol’ü işletmektedir. Alınan TCP paketi alıcı tarafa, gönderen TCP’nin pencere uzunluğunu bildirir [14]. Pencere uzunluğu paketin alınma numarası ile başlayan kaç oktet bilginin TCP tarafından kabul edileceğini göstermektedir.

2.4.2 TCP Başlık Bilgisi

TCP segment’i IP datagramı olarak gönderilir. IP protokol başlık bilgisi içersinde gönderici ve varılacak bilgisayarın IP adresi vardır. TCP başlık bilgisi IP başlık bilgisini izleyen yapıdadır ve TCP protokolüne özel bilgiler içerir. Şekil 2.6’da herhangi bir TCP başlığı içersindeki bilgi ve kontrol alanları gösterilmektedir.



Her bir işaret bloğu bir bit bilgiyi ifade eder.

Şekil 2.6 TCP Başlık Formatı

Kaynak port numarası: Kaynak port numarası(16 bit)

Hedef port numarası: Hedef port numarası(16 bit)

Sıra numarası: Segment içerisindeki ilk oktet'in sıra numarası(32 bit)

Paket alınma numarası: Eğer paket alınma bit'i aktif ise, bu alan içerisinde beklenen bilginin ilk oktet'inin sıra numarası yer alır.(32 bit).

Bilgi Offset: TCP başlığındaki 32 bit uzunluğundaki kelimenin numarası.(4 bit)

Bilginin nerede başladığını işaret eder. TCP başlığı 32 bit uzunluğunun bir integral numarasıdır. TCP başlığı maksimum 20 oktet uzunluğunda olabilir.

Reserve: Gelecekte kullanım için ayrılmıştır (6 bit)

Kontrol Bitleri: 6 bit.

URG: Acil gösterge alan belirleyicisi.

ACK: Paket alınma alan belirleyicisi.

PSH: İtme fonksiyonu.

RST: Bağlantıyı sıfırla.

SYN: Sıra numarası ile senkron olma.

FIN : Gönderici tarafından daha fazla bilgi yok.

Çerçeve: Paket alma alanındaki ile birlikte gönderici tarafta kabul edilecek bilgi oktetlerinin sayısı.(16 bit)

2.5 TCP/IP ve Gecikme

Bir çok popüler Internet uygulaması(world wide web:www, FTP, e-mail) ağ üzerinde güvenilir bilgi aktarımını esas kılar. TCP protokolü bu amaç için en fazla kullanılan protokoldür. Internet raporlarındaki trafik araştırmaları, trafiğin baskın bölümünün TCP'ye ait olduğunu göstermiştir. TCP protokolü kablolu ağlar için dizayn edilmiş ve ayarlanmıştır. En önemli özellikleri arasında belirli bir bant genişliği serbest bırakabilmek ve ağ'ı fazla yüklenmekten koruyabilmek sayılabilir.

Sayıları çok fazla olmamakla birlikte bazı kullanıcılar, onların popüler uygulamalarını kablosuz bağlantıyla gerçekleştirmek istemektedirler. Kablosuz bağlantıda yaşanan; transmisyon hataları, yüksek gecikme ve uzun ani duraksamalar, paket kayıplarına neden olmakta, bu da TCP protokolünün karışmasına ve beklenen verimden oldukça uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bazı kablosuz ağ'lar bilgi kayıpları durumunda, gönderici tarafa haber vermeksizin katman seviyesinde tekrar gönderme veya yüksek seviyede hafızaya alma işlemlerini gerçekleştirirler. Kablosuz ağ'lardaki güvenilirlik TCP için gecikmeye neden olmaktadır.

2.5.1 TCP'de Güvenirlilik

TCP, bağlantıdaki maksimum paket büyüklüğünü geçmeyecek şekilde gönderici tarafın bilgisini paketler(TCP segmentleri) halinde gönderir. Her pakette TCP başlık bilgisi yer alır. Bilginin her bir oktet'ine bir sıra numarası verilir. Alıcı taraf paketi almasından hemen sonra gönderici tarafa bilgilendirme gönderir. Bilgilendirme kümülatif olarak yapılır. Gönderen taraf bilgilendirilmiş(acknowledged) toplam bilginin(data) bölümleri hakkında bir bilgiye sahip değildir. TCP kendisine özel bir tetiklemeye sahiptir [5]. Her alınan "paket alındı bilgisi" yeni bir segment'in gönderilmesine neden olur. Bilgi her zaman doğru şekilde bildirilemez. Ağ, paketleri kaybedebilir, tekrarlayabilir ve yeniden sıralayabilir. Alınan paketler beklenen sıra numarasıyla alınmadı ise bu paketler sıraya uymayan paketler olarak değerlendirilir.

Bu paketlerin alınmasından sonra TCP daha önceden bildirimini yaptığı beklenen paketlerin sıra numarasını tekrar yollar(Double Acknowledgement:DACK). Gönderici tarafta tekrar gönderme zamanlayıcısının(Retransmission timeout) sona ermesiyle birlikte paket alındı bildirim işlemi güvenilir bilgi dağıtımını yapmış olur. Yeniden gönderme zamanlayıcısının değeri(RTO) bir paketin ağ'da dolaşma sürelerinin(Round Trip Time:RTT) ortalaması ve bunun varyasyonu kullanılarak hesaplanır. Bundan sonra anlatılanlar ağ'larda uygulanan TCP Reno protokolüdür.

Eğer yeniden gönderme zamanlayıcısı sona ererse(Retransmission timeout:RTO) yavaş başlama işlemi(Slow start) devreye girer [14]. TCP, hızlı göndericiyi yavaş alıcıda akış yükü yaratmaması için akış kontrolünü kayan pencere(sliding window) işlemi kullanarak düzenler. Gönderilmeyi bekleyen segmentlerin pencere büyüklükleri, alıcı tarafın bildirdiği pencereden büyük ise segmentlerin gönderilmesi yeni bir bilgilendirmeye kadar iptal edilir.

TCP'nin gelişiminde, gelen trafiğin ağ kapasitesini aşmaması için tıkanıklık kontrol(congestion control) mekanizması geliştirilmiştir. Bunlardan birisi olan Yavaş başlama(Slow start) mekanizması şöyledir: TCP bu faz'a başlangıç pencere büyüklüğünü göndermekle başlar. Şu andaki tıkanıklık kontrol standartları başlangıç pencere büyüklüğünün 1 yada 2 segment olmasına izin verir. Faz boyunca transmisyon hızı exponensiyel biçimde artar. Yavaş başlama işleminin amacı, koşan paket alındı bilgilendirme zamanının elde edilmesi ve ağ kapasitesini belirlemektir. Tıkanıklık penceresi(congestion window) ağ'da mümkün kapasitesinin bir göstergesidir.

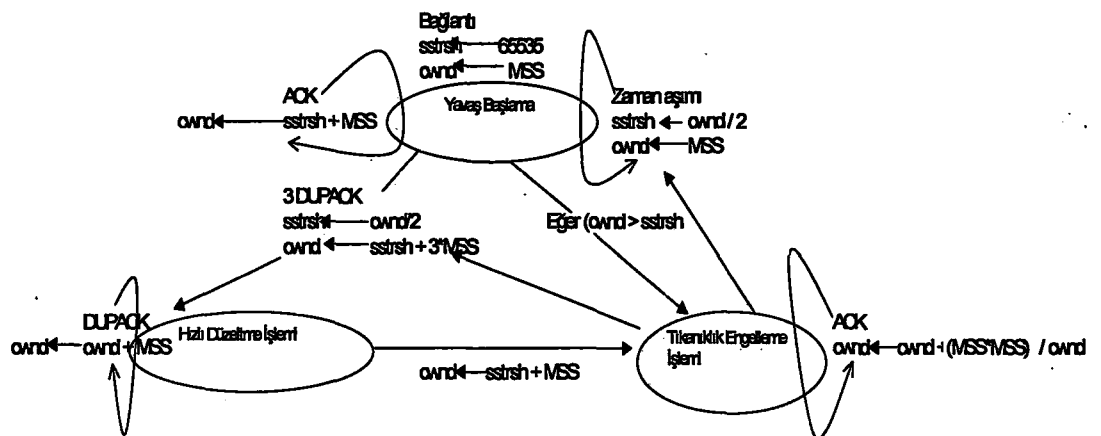
Herhangi bir zamanda, gönderici taraf tavsiye edilen minimumdan küçük veya tıkanıklık penceresinden büyük sayıda segment gönderemez. Paket alındı bilgisinin alınmasıyla birlikte gönderici tıkanıklık penceresini 1 artırır. Dolayısıyla gönderici, bilgilendirilmiş(acknowledged segment) segment sayısı artı 1 adet segment gönderebilir. Bu işlem, kabaca tıkanıklık pencere büyüklüğünü her RTT' de iki katına çıkarır.

Yavaş başlama bir segment'in kaybolması yada yavaş başlama eşik değerine varıldığında sona erer [14]. Yavaş başlama eşik değeri aşılnca, gönderici taraf tıkanıklık engelleme(congestion avoidance) fazına geçer ve tıkanıklık penceresi kabaca her RTT' de bir segment artar. Eğer bir segment kaybı sezilirse bu, ağ'da bir

tıkanıklık ve yük olduğunu gösterir. Yavaş başlama eşik değeri en son tıkanıklık pencere büyüklüğünün yarısına çekilir. Yeniden gönderme zamanlayıcısının sona ermesinden sonra, tıkanıklık penceresi 1 segment büyüklüğüne çekilir ve yavaş başlama faz'ı başlar [15].

TCP protokolü, bir segment'in kaybolması durumunda, tekrar gönderme zamanlayıcısının sona erme(RTO) zamanından kaynaklanan gecikmeyi engellemek için hızlı tekrar gönderme (Fast Retransmit) ve hızlı düzeltme(Fast Recovery) mekanizmalarını işletir. Bilgilendirmenin yenilenmesi(DUPACK), beklenen sıra numaralı paketlerin alınamaması durumunda gerçekleşiyordu. Ağ paket sıralarını tekrar düzenliyor yada paketleri kopyalıyor olabilir, dolayısıyla her alınan DUPACK mesajı bir segment'in kaybolduğunu göstermez. 3 adet DUPACK, segment kaybı ve zaman kaybı için eşik değeridir. 3 tane DUPACK'ın alınması ile birlikte hızlı tekrar gönderme mekanizması devreye sokulur. Bilgilendirilmesi yenilenmiş segment(DUPACKed segment) tekrar gönderilir ve tıkanıklık engellemesi göz önüne alınarak tıkanıklık penceresi(congestion window) yarıya düşürülür. Hızlı gönderme mekanizması, yeni segmentlerinin gönderilmesi ve akış kontrolünü, yenilenmiş bildirim yoktur(Non Duplicate ACK) mesajını alıncaya dek sürdürür. Hızlı düzeltme algoritmasında her DUPACK, ilgili segment'in ağ'da kaldığını işaret eder. Her gelen DUPACK'la tıkanıklık penceresi 1 maksimum segment büyüklüğünde(Maksimum segment size:MSS) şişirilir. Tıkanıklık penceresi yeteri kadar şişirildiğinde her gelen DUPACK sadece bir segment'in gönderilmesini tetikler [2]. TCP'de hata ve akış kontrolü özet şeması Şekil 2.7'de verilmiştir.

Şekil 2.7 TCP'de Hata ve Akış Kontrolü(TCP Reno Protokolü)



2.5.2 Gecikmenin Kaynakları

Kablosuz geniş alan ağ'larda gecikme genelde saniyeler seviyesindedir. Bu değer kablolu bağlantılarda bir paketin ağ içersinde dolaşımındaki gecikmenin yaklaşık bir kaç katıdır. TCP bu türden daha fazla veya az sürekli gecikmelere daha iyi reaksiyon verir. TCP'nin daha iyi reaksiyon vermesinin nedeni yeniden gönderme zamanlayıcısının sona erme değerinin, paketlerin ağ'da dolaşma sürelerinin(Round Trip Time:RTT) ortalaması ve bunun varyasyonlarına göre güncellenmesidir. TCP'nin ani uzun gecikmelere olan reaksiyonu güçlü değildir. Yeniden gönderme zamanlayıcısının değerini bu gecikmelere göre ayarlama şansı olmadığı durumda, TCP gönderilmiş paketlerin kaybolduğunu varsaymak ve tekrar göndermek zorundadır. Kablosuz geniş ağ'larda meydana gelebilecek gecikmenin bir kaç nedeni vardır. Bunlar aşağıdaki konularda verilmiştir.

2.5.2.1 Bağlantı Katmanında Hata Düzeltilmesi

Bu gecikmeler için en popüler kaynaktır. Bilgi bağlantısı sırasında katman seviyesindeki düzeltmelerle ilgili protokoller bu tip gecikmelerin nedenleridir. Bazı kablosuz ağ'larda 2 veya daha fazla protokol hata düzeltmesiyle ilgilenebilir. Örnek verilecek olursa, GPRS sisteminde hata düzeltmesiyle ilgili olarak, alt katmanlardaki düşük büyüklükteki paketlerin işletimiyle ilgili RLC(Radio Link Control: radyo bağlantı kontrolü) protokolü ve yüksek katmanlarda IP paketlerinin işletimiyle ilgili LLC(Logical Link Control: Mantıksal bağlantı kontrolü) protokolü mevcuttur. Her iki protokolde güvenilir ve güvenilir olmayan biçimde kullanılabilir. Bu seçim ve parametre değerleri şebeke sağlayıcının seçimidir. Sonuç olarak TCP'nin bilgi bağlantısı sırasında ani uzun duraksamalarda düzgün çalışma garantisi verilemez.

2.5.2.2 Yeni Hücre'ye Geçiş(Handover)

Bilgi bağlantısı sırasında gezici istasyonun yeni bir hücreden servis alması gerekebilir. Bilgilerin yeni hücreden aktarılması işlemi bir duraksamayı gerektirir. Bu duraksamanın sebebi sinyal seviyelerinin kalitesinin değerlendirilmesi, doğrulama ve yeni baz istasyonuna bilgilerin aktarımıdır. Bu işlemlerin hepsi bilgi akışının belirli bir süre aksamasına neden olur. Bu işlemlerin yarattığı gecikme saniyenin onda biri kadardır.

2.5.2.3 Yüksek Öncelikli Trafikten Gelen Engelleme

Kablosuz ağ'larda genelde paket bağlaşması ve devre bağlaşması birlikte uygulanır. Ağ yöneticisi tarafından trafik önceliği sesli aramalara verilir. Yeni gelen bir sesli arama, bilgi bağlantısı için kullanılan kanallardan birini alabilir.

2.5.3 TCP'nin Gecikmeye Olan Reaksiyonu

Bilgi transferi sırasında aniden meydana gelen bir gecikme, yeniden gönderme zamanlayıcısının eşik değerini geçerse TCP zaman aşımına uğrar ve en son gönderilen segment tekrar gönderilir. Segment gecikmiş fakat kaybolmamıştır. Bu durumda yeniden gönderme gereksizdir. Bundan sonra gönderici tarafa ulaşan bilgilendirme paketi, yeniden transfer edilen segment'in bilgilendirmesi olarak yorumlanır. Bu TCP'nin eksik taraflarından biridir. Alınan bilgilendirme paketi orijinal yollanan segment'in bilgilendirmesi olduğu halde, yeniden yollanan segment'in bilgilendirmesi olarak yorumlanır. TCP, orijinal ile orijinal'e ait yeniden gönderilmiş segmentlerin bilgilendirme paketlerini birbirinden ayırt edemez. TCP göndermiş olduğu segmentlerin hepsini yavaş başlama algoritmasını kullanarak tekrar gönderir.

2.5.4 Canlı Şebekede Gecikme

Paket bağlaşmalı GPRS servisinde yoğun bilgi aktarımı sırasında duraksamalar tespit edilmiştir. Bazı yerlerdeki sinyal seviyesinin düşüklüğü veya interferans'tan kaynaklanan paket kaybolmaları performansın düşmesine neden olur. Bu olaya örnek olması için yapılan çalışmalarda, bağlantı kurulduktan yaklaşık 20 saniye sonra ani bir duraksamanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Gecikme boyunca hiç bir segment kaybolmamasına rağmen TCP bu süre boyunca gönderilen segmentleri tekrar göndermiştir. GPRS'de yeni bir hücre seçimi ve bilgilerin aktarılmaya başlanması yaklaşık olarak 10 saniye sürmektedir [9]. Genel olarak RTT zamanı 1,3 saniye olmasına karşın bu süre gezici istasyonun başlattığı yeni hücre seçimi sırasında 10 saniyeye kadar çıkar. Dolayısıyla, ortada hiç bir paket kaybı olmamasına rağmen TCP gereksiz yere tıkanıklık engelleme fazını ve hızlı düzeltme algoritmalarını işletir. Çünkü, TCP gönderici taraf belirli bir süre içinde gönderdiği paketlerin bilgilendirme paketlerini alamaz, bu gelişmeyi de tıkanıklıktan kaynaklanan paket kaybı olarak yorumlar.

2.6 TCP Protokolünün Yüksek Gecikmeli Dar Bant Kanalda Performansı

Sınırlı bant genişliği, yüksek gecikme, yüksek bit hata oranları ve geçici bağlantı kopmaları kablosuz ağ'daki bağlantıyı karakterize ederler. TCP daha önceden belirtildiği gibi kablolu ağ'larda sabit terminallerin bağlantı taşıma protokolü olarak dizayn edilmiştir. TCP bu tip ağ'larda, uçtan uca gecikmeye ve engellemeden kaynaklanan paket kaybolmalarına çok iyi reaksiyon verir. TCP'nin kablosuz ağ'lardaki performansını görmek amacıyla, sinyal seviyesine göre farklılık gösteren 3 yer seçildi. Çok iyi kapsama, zayıf kapsama ve dalgalanan kapsama gösteren 3 yer performans hakkında değerlendirme yapmaya yetecek kadar bilgi verebilir.

Ölçümler GSM kanalları kullanılarak gerçekleştirildi. RLP hata engellemesini yapan GSM bilgi kanalı saniyede 9600 bit bilginin akmasına izin verir [13]. Ölçümler için değişik boyutlarda(100, 300, 500, 700 ve 1800 Oktet) metin dosyaları kullanıldı ve her bir dosya 10'ar kez transfer edildi ve değerlerin ortalaması alındı. Transferlerin yönü şebekeden gezici istasyona ve gezici istasyondan şebekeye doğru yapıldı. Ölçümler sırasında maksimum transfer birimi(Maksimum Transfer Unit:MTU) 808 oktet olarak seçildi.

FTP uygulama protokolü kullanılarak yapılan ölçümlerde saniyede ortalama 7200 bit bilgi taşındığı tespit edildi. Zayıf kapsama ve dalgalı kapsamada yapılan ölçümlerde ortalama saniyede 7150 bit bilginin transfer edildiği tespit edildi. Yapılan ölçümlerde TCP/IP başlığını 10 oktet'e indiren TCP/IP başlık sıkıştırması(TCP/IP header compression) ve her 134 oktet bilgiyi 6 oktet' çeviren v.42 bis bilgi sıkıştırması ve MTU olarak 808 oktet kullanılmıştır.

FTP uygulama protokolünden sonra aynı sinyal seviyelerinde HTTP performansına yönelik testler yapılması amaçlanmıştır. Şebeke tarafı HTTP performans testleri için hazırlanmıştır. İşletim sistemi olarak Linux kullanılmıştır. Diğer işletim sistemlerinde de testler tekrarlanmıştır. Bunun amacı performansın kullanılan işletim sisteminden bağımsız olup olmadığını tespit etmektir. Bu amaçla Linux, Dos 3.11 ve Windows NT 4.0 işletim sistemleri kullanılmıştır. Testlerde GSM bilgi kanalı kullanılmıştır. İşlem performansının değerlendirilmesi ve ölçülmesi için NETperf test programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde TCP talep/cevap(RR) ve TCP bağlantı/talep/cevap(CRR) test ölçümleri yapılmıştır. Ortalama olarak 30 RR veya CRR sayısı performans değerlendirilmesi için seçilmiştir. Bir RR veya CRR hareketi

yaklaşık 60 saniye almaktadır. 30 hareket için harcanan süre yaklaşık 60 dakikadır. Talep için seçilen mesaj boyutu 200 oktet, cevap için seçilen mesaj boyutu 2000 oktettir. Bu mesaj boyutları gerçek zamanlı uygulamalarda www sunucular için idealdir.

Elde edilen sonuçlar, gezici bilgi bağlantısının sabit bağlantılara göre oldukça düşük olduğudur. Bilindiği üzere kullanılan kanal GSM bilgi kanalıdır. Ölçülen RTT değeri PSTN(Public Switch Telephone Network: Kamusal Telefon Bağlama Ağı) şebekesindeki RTT değerinin iki katıdır. Ölçülen RTT değeri 1920 milisaniyedir. RTT işlem performansını etkileyen önemli bir parametredir. İşlem performansını dakikada tamamlanış talep ve cevap sayısı olarak alabiliriz. Saniyede ölçülen işlem 0,14 dür. Bu dakikada 8,4 işlem demektir. Sabit şebekelerdeki işlem sayısının ortalama 100 işlem olduğu düşünülürse performansın oldukça düşük olduğu görülür. Kötü sinyal seviyesi ve interferans koşullarında performansın çok fazla değişmediği tespit edilmiştir.(Ortalama dakikada 8 işlem) .

Yapılan ölçümlerde elde edilen sonuç, TCP/IP'nin yüksek gecikmeli dar bant hücreli radyo bağlantılarındaki performansının iyi olmadığıdır. Ölçümler devre bağlaşmalı GSM şebekesinde yapılmıştır. TCP'nin geniş bant paket bağlaşmalı şebekelerdeki performansı ileriki konularda verilecektir.

3. GPRS GENEL

GPRS(General Packet Radio Services) sistemi GSM(Global System for Mobile)'in yeni taşıyıcı servisi olup, gezici kullanıcıların bilgilerinin harici paket şebekelere ulaştırılmasını hızlandıran ve kolaylaştıran bir servistir. GPRS sistemi konuşmayı taşımaz. Kullanıcı bilgi paketlerinin GSM baz istasyonlarından harici paket şebekelerine ulaştıran ve bu işlemi gerçekleştirirken paket radyo ilkelerini kullanan evrensel bir sistemdir. Paketler GPRS mobil istasyondan direkt olarak paket bağlaşımlı şebekeye yönlendirilir. Şebeke IP protokol tabanında dizayn edilmiştir. Bu sayede GPRS şebekesi Internet ve intranet ağlarıyla alan iletişimi desteklemektedir. Şu an itibariyle GPRS şebekesi X.25 şebekelerine de servis sağlamaktadır.

GPRS kullanıcıları düşük erişim zamanı ve yüksek hızda bilgi transferinden yararlanmaktadır. GSM'den şebekeye erişim bir kaç saniye almakta, ve transfer hızı saniyede 9600 oktetle sınırlanmaktadır. GPRS bir saniyeden daha kısa bir zamanda erişim ve neredeyse ISDN hızlarında(bir kaç 10000 oktet) bilgi transferine olanak sağlar.

GPRS bütün bu özelliklerinin yanında kullanıcıya çok daha uygun bir fiyatlandırma sağlar. GSM bilgi kullanıcıları konuşma süresine göre fiyatlandırılırlar. Bu fiyatlandırma yoğun bilgi transferleri göze alınırsa kullanıcıya uygun bir fiyatlandırma değildir. Kullanıcı hem bilgi transferi süresine göre fiyatlandırılmakta, hem de bağlı olup, bilgi transferi yapmadığı zamanlar(örnek: indirdiği bir sayfayı okurken) için de fiyatlandırılmaktadır. Buna karşın GPRS sisteminde, kullanıcı sadece transfer ettiği(aldığı yada gönderdiği) bilgi miktarına göre fiyatlandırılmaktadır. Kullanıcı bağlı olup bilgi transferi yapmadığı durumlar da fiyatlandırılmamaktadır. Bu sayede her zaman bağlı durumda olup, sadece bilgi transferi gerçekleştirildiğinde alıp gönderdiği bilgi boyutuna göre fiyatlandırılmaktadır [13].

Özetle GPRS, daha efektif radyo kaynak kullanımını, bilgi miktarına göre fiyatlandırmayı(volume based charging), yüksek hızda bilgi transferlerini, düşük

şebeke erişim zamanı sağlayan ve harici şebekelere daha kolay ulaşmayı sağlayan bir sistemdir. GPRS şebekesi GSM hava ara yüzünü kullanır ve IP tabanlıdır. GPRS ETSI(Euopen Telecommunication Standart Institue) tarafından standartlaştırılmıştır. Şu an itibariyle 40 ülkedeki toplam 110 GSM operatörü GPRS servisi vermektedir.

3.1 GPRS' in Önemli Kullanıcı Özellikleri

Müşterileri tarafından tercih edilecek ve kullanılacak bir servis olabilmesi için GPRS' in kullanıcıya kolaylık ve yarar sağlayacak bir pozisyonda olması kaçınılmazdır. Dolayısıyla GPRS kullanıcıları yeni servislerden yararlanmalarının yanında bugün devre bağlaşmalı bilgi aktarımındaki olumsuz durumlardan da kurtulmuş olacaklardır.

3.1.1 GPRS' de Hız

Hava ara yüzünde teorik olarak saniyede 171200 oktet bilgi hızı, 8 tane GPRS kanalının kullanılmasıyla mümkündür. Bu hız sabit haberleşme şebekelerindeki hızın yaklaşık 3 katı ve GSM' deki devre bağlaşma bilgi hızının 10 katıdır. Bilginin daha hızlı ve efektif gönderilebilmesi GPRS'i, SMS ve devre bağlaşımındaki bilgi iletişimiyle karşılaştırdığımızda en ucuz mobil bilgi servisi haline getirmiştir.

3.1.2 Hızlı ve Sürekli Bağlantı

GPRS hızlı bağlantıya olanak sağlar. Bilginin gönderilmesi veya alınması talep edildiğinde, aktarım hızlı bir şekilde gerçekleştirilir. İvedilik GPRS'in en önemli özelliklerinden biridir. Kullanıcın bağlı durumda olması, bir transfer talep ettiğinde yeniden bağlanmaya gerek duymadan bilgi aktarımını gerçekleştirebilmesi devre bağlaşmalı bilgi iletişimiyle karşılaştırıldığında çok büyük bir avantajdır. Kullanıcının bağlı bulunduğu süre için değil de transfer ettiği bilgi boyutuna göre fiyatlandırılması, her zaman bağlantı mantığını ortaya çıkarmıştır. Yeni katma değer servisleri(Value Added Services:VAS) sayesinde GPRS'in bu özelliğinden yararlanılarak elektronik posta bilgilendirilmesi ve haber alma uygulamaları gibi servisler gündeme gelmiştir [13].

3.1.3 Yeni Uygulamalar

GPRS, sağladığı özellikler sayesinde devre bağlaşımındaki bilgi aktarım hızı(saniyede 9600oktet) ve SMS(Short Message Service)'in mesaj

boyutundaki(Maksimum 160 karakter) kısıtlamalar nedeniyle GSM'in getiremediği servisler zemin hazırlamıştır. GPRS, diz üstü bilgisayarınız yada kişisel bilgisayarınızla mobil şebeke üzerinden Internet ağına erişimden muhabbet servislerine kadar bütün Internet uygulamalarını destekler. GPRS uygulamalarını iki sınıfta inceleyebiliriz. Yatay ve dikey GPRS uygulamaları.

Yatay GPRS uygulamaları mobil Internet servisleridir. Bunlara örnek WAP(Wireless Application Protocol), e-mail(elektronik posta), internette dolaşım(web browsing) ve intranet'e ulaşım verilebilir. Şirketlerin kendi ağlarındaki şahsi uygulamalarından dolayı kendi ağlarına olan bağımlılıkları her geçen gün artmaktadır. Intranet ulaşımının sağlanabilmesi ve şirket çalışanlarının kendi ağ'larına mobil olarak girebilmeleri büyük bir fırsattır.

Dikey uygulamalar ise daha çok şirketlere veya grup kullanıcılara hitap eder. Biresysel kullanıcı uygulamaları değildir. Bu uygulamalardan bazıları günümüzde özel radyo ağlarında mevcuttur. GPRS bu uygulamaları daha genel bir kullanıma taşımıştır. Bu uygulamalara örnek olarak; telemetrik uygulamalar(örnek: gaz şebekesi kontrol sistemi, yol trafik ölçümleri..vs), raporlama servisleri(taksi sistemi), para/kontür makineleri işletimi verilebilir.

GPRS ilk fazlarında yatay uygulamaların daha baskın olduğu tespit edilmiştir. İleride dikey uygulamaların da gündeme geleceği kesindir. Tırafiğin belirli bir kısmını kaplayacak olmalarına rağmen GPRS'i genelleştirmek amacına uygun bir gelişme olacaktır.

3.1.4 Servis Ulaşımı

GPRS servisinden yararlanmak isteyen kullanıcıların ihtiyaçları;

- GPRS'i destekleyen mobil telefon yada terminal.
- GPRS servisi veren mobil telefon şebekesine üyelik.
- GPRS servisinin kullanılabilmesi için gerekli tanımlama. GPRS'e otomatik ulaşım bazı operatörler tarafından sağlanabilir.
- Bilgi gönderebilmek ve alabilmek için kullandıkları GPRS mobil telefon veya terminale ilişkin donanım ve yazılım konfigürasyonu.
- GPRS üzerinden bilgi gönderebilmek ve alabilmek için hedef adres tanımlaması. Bu genellikle bir Internet adresidir. GPRS kullanıcıları

istedikleri web sayfasına ulaşabilmekte ve bütün Internet uygulamalarını gerçekleştirmektedirler.

Günümüzde çok çeşitli GPRS cihazları bulunmaktadır. Gelecekteki GPRS terminallerini tahmin etmek oldukça güçtür. Günümüzdeki popüler GPRS terminalleri:

- Mobil Telefonlar: WAP özelliği olan, küçük ekranlı telefonlardır. Dizüstü bilgisayarlar ile Internet ve intranet'e ulaşım sağlar.
- Akıllı telefonlar: Konuşma ve bilgi bağlantısı için kullanılırlar. Büyük ekranlı, WAP'ı destekleyen terminallerdir.
- Cep Bilgisayarları: GPRS özelliği olan terminallerle iletişim kurarak bilgi bağlantısı gerçekleştirebildiğimiz cihazlardır.

Bu cihazlara ilaveten GPRS radyo birimi entegreli PC kartlar, iletişim cihazları (communicator) ve telemetrik ve uzaktan kontrol uygulamalarında kullanılan kara kutular sayabileceğimiz GPRS terminalleridir.

3.2 GPRS Şebekesinin Önemli Noktaları

GPRS şebekesinin önemli noktaları aşağıdaki konularda anlatılmıştır.

3.2.1 Paket Bağlaşımı

GPRS sistemi, mevcut devre bağlaşmalı GSM sistemi üzerinde, hava arayüz tabanlı paket bağlaşımı sunmaktadır. Bu, kullanıcılara paket bağlaşmalı bilgi servisi imkanı tanımaktadır. Devre bağlaşmalı bir şebeke alt yapısına paket bağlaşımını getirmek gerçekten de takdir edilecek bir gelişmedir. GPRS sistemi bu geliştirmeyi, şebeke tarafında sadece bir kaç eleman entegre edilmesiyle sağlar. GPRS sisteminde, bilginin daha ufak paketler halinde aktarılması ve bu paketlerin uç tarafta tekrar birleştirilmesiyle transfer gerçekleştirilmiş olur [13].

3.2.2 Efektif Spektrum

Paket bağlaşımı, GPRS radyo kaynaklarının sadece bilgi gönderirken ve alırken kullanılması özelliğini getirmiştir. Bir mobil bilgi kullanıcıya belirli bir süre bir radyo kanalını kullandırmaktansa, erişilebilir tüm radyo kanalları bir kaç kullanıcı tarafından aynı anda kullanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, baz istasyonundaki bir

radio kanalı aynı anda birden fazla kullanıcıya servis vermektedir. Aynı anda bir radio kanalından kaç kişinin servis alabileceği uygulamanın tipine ve bilginin büyüklüğüne göre değişmektedir. GPRS, operatörlere sunduğu dinamik ve sabit radio bilgi kanalı tahsis özelliği ile, spektrumun efektif olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. GPRS bunu nadir kullanılan radio kanallarına sanal bağlantılar tanımlıyarak, devre bağlaşmalı trafiği GPRS ile taşıyarak gerçekleştirir.

3.2.3 Internet Uyum

GPRS sistemi ilk defa olarak mobil Internet fonksiyonunu mevcut Internet şebekesi ile GPRS sistemi arasındaki etkileşimle sağlamıştır. Sabit Internet ağı üzerindeki herhangi bir uygulama GPRS sistemi üzerinden de rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bir çok GSM operatörü GPRS'i Internet servis sağlayıcı olmak için bir fırsat olarak görmektedirler. GPRS'de de aynı protokolün kullanılması nedeniyle, GPRS şebekesi ve GPRS terminalleri Internet ağının bir alt şebekesi olarak görünmektedir. Bu sayede her bir GPRS terminalinin bir IP adresi vardır ve bu şekilde adreslendirilirler.

3.3 GPRS' deki Sınırlar

GPRS mobil kullanımı açısından yeni ve oldukça etkili bir servis olmasına rağmen, sistem gereği bazı sınırlara sahiptir. Bunları şu ana başlıklar altında ele alabiliriz.

3.3.1 Kullanıcılar için Sınırlı Hücre Kapasitesi

Sadece sınırlı sayıda radio kanalı GPRS kullanımı için tahsis edilebilir. Ses ve GPRS aramaları aynı radio kanallarını kullanmaktadır. GPRS, radio kanal tahsisini dinamik olarak gerçekleştirir. Konuşmanın yoğun olduğu saatlerde GPRS radio kanallarından bazıları GSM trafiği için tahsis edilebilir.

3.3.2 Pratikte Hız

GPRS üzerinden saniyede 171200 oktet'in transfer edilebilmesi için, tek bir kullanıcının 8 adet radio zaman dilimi(Timeslot) kullanması ve hiç bir hata düzeltilmesine maruz kalmaması gerekir. Operatörler 8 radio zaman dilimi sadece bir kullanıcı tarafından kullanılmasına izin verseler bile GPRS terminalleri ilk fazda en fazla 3 yada 4 radio zaman dilimini aynı anda kullanabildiklerinden bu hızlara ulaşmak oldukça zordur. Yüksek mobil bilgi hızları EDGE(Enhanced Data Rates for

GSM Evoluution) ve UMTS(Universal Mobile Telecommunication System) sistemlerine kadar beklemek zorundadırlar.

3.3.3 Modülasyon

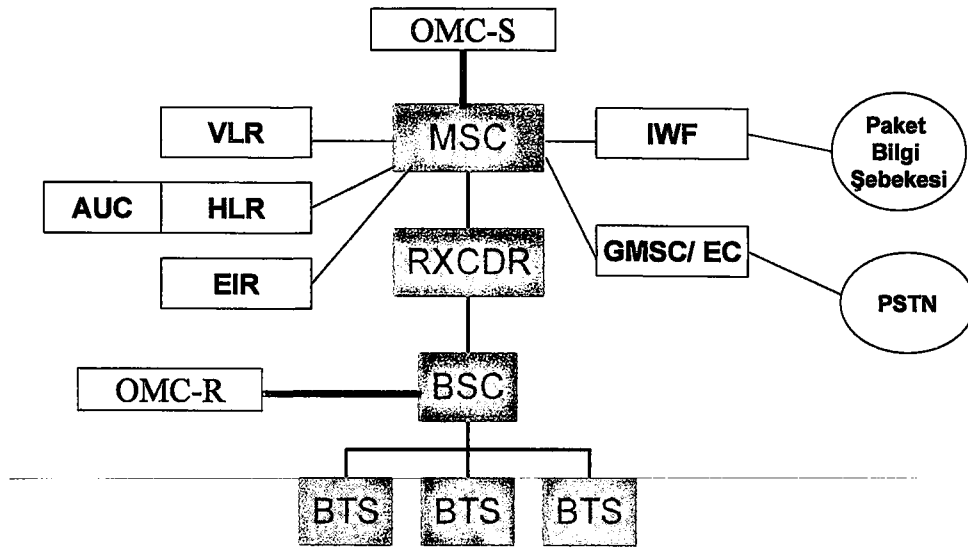
GPRS sistemi GMSK(Gaussian Minumum Shift Keying) modülasyon tekniğini kullanmaktadır. EDGE ve UMTS daha yüksek bilgi transfer hızları sağlayan 8 PSK(eight phase shift keying) modülasyon tekniğini kullanmaktadır. Sonuç olarak operatörler, GPRS'in kullandığı modülasyon tekniğini EDGE ve UMTS'e geçişte değiştirmek zorundadırlar.

3.3.4 Taşıma Gecikmesi

GPRS paketleri aynı hedefe ulaşırken, değişik doğrultulardan dağıtılmaktadırlar. Bu işlem, bazı paketlerin kaybolması veya hataya uğramasına neden olabilmektedir. GPRS sistemi kablosuz aktarımda doğabilecek bu sorunlara karşın yeniden gönderme uygulamalarına değişik bir bakış açısı getirmiştir. Fakat sonuçta taşıma gecikmesi mevcuttur [12].

3.5 GPRS Sistem Yapısı

GPRS sistem yapısının tam olarak anlaşılabilmesi için, GSM sistem yapısının anlaşılması gerekmektedir. Bu nedenle ilk olarak GSM sistem yapısına göz atmamız gerekmektedir. Şekil 3.1'de GSM sistem yapısı mevcuttur.



Şekil 3.1 GSM Sistem Yapısı ve Elemanları

3.5.1 GSM Sistem Yapısı

GSM mobil terminal MS(mobile station) olarak adlandırılır. Hücree, bir BTS(Base Tranceiver Station)'in radyo alan kapsamasıdır. Bir grup BTS bir BSC(Base Station Controller) tarafından kontrol edilir. BTS ve BSC birlikte BSS(Base Station Subsystem)'i oluştururlar. Bir cell'in kapsamısından servis alan MS'lerin toplam trafiği MSC(Mobile Switching Center)'ye gönderilir. Sabit bir şebekeden konuşmanın başlatılması veya sonlandırılması MSC'nin çıkış kapısı olan GMSC(Gateway MSC) koordinasyonunda sağlanır. GSM sisteminde hiyerarşik bir yapı mevcuttur. MSC'ye tahsis edilmiş bir idari bölge vardır. Her idari bölge en az bir bölgesel alan(LA)'dan meydana gelmiştir. Her bölgesel alan(LA) bir çok hücre gruplarından meydana gelir. Her hücre grubu bir BSC tarafından kontrol edilir [16].

Bir çok veri tabanı, konuşma kontrolü ve şebeke yönetimi için yaratılmıştır. Bunlar; HLR(Home Location Register), VLR(Visitor Location Register), Doğrulama merkezi(AUC: Authentication Center) ve EIR(Equipment Identity Register)dır.

Şebeke operatörüne kayıtlı tüm kullanıcıların daimi(örnek: kullanıcı profili) ve geçici bilgileri(örnek: kullanıcının şu anki servis aldığı alan) HLR'da tutulur. Kullanıcıya doğru yapılan bir aramada, ilk olarak HLR sorgulanır ve aranan mobil kullanıcının yeri tespit edilir. VLR'lar bir grup bölgesel alandan(LA) sorumludurlar ve bu alana giren ziyaretçilerin bilgilerini HLR'dan isterler. Bu bilgiler daha hızlı erişim için gerekli olan profil bilgileridir. Bunların yanında VLR, geçici kimlik yaratılması gibi bazı görevleri de yerine getirir. Bunun nedeni, kalıcı kimlik bilgilerinin hava ara yüzünden transfer edilmemesi ve böylelikle güvenliğin sağlanmasıdır. AUC bilgi güvenliği ve doğrulama için çeşitli algoritmalar ve anahtarlar kullanır.

3.5.2 GSM Adreslemesi ve Belirteçleri

GSM sistem işletimi sırasında kullanıcı bilgisini cihaz bilgisinden ayırır ve farklı işlem yürütür. Telefon numarasının yanında , kullanıcı profil bilgisi ve ekipman kimlik bilgileri de sisteme tanımlanır. Bu tür bilgiler kullanıcıların dolaşım yönetimi ve diğer tüm şebeke elemanlarının adreslemesi için gereklidir.

IMEI(International Mobile Equipment Identity:Ulaslararası Mobil telefon Kimlik) numarası mobil istasyonu uluslararası olarak tanımlar. Bir çeşit seri numarasıdır. IMEI numarası üretici firmalar tarafından tayin edilir ve şebeke operatörünün EIR kayıtçısına işlenir.

Bir SGSN(Servicing GPRS Support Node) kendi servis alanı içerisindeki mobil istasyonlara giden ve bu mobil istasyonlardan gelen paketlerin dağıtımını yapar. SGSN'nin görevleri arasında hareket halindeki kullanıcı işletimi(GPRS'e bağlı olma veya olmama, alan yenileme..vs), paket rota tabloları oluşturma ve paketlerin transferi, mantıksal bağlantı yönetimi, fiyatlandırma ve doğrulama sayılabilir.

GGSN(Gateway GPRS Support Node) GPRS ana şebekesi ile harici paket şebekeler arasındaki bir ara yüz gibi davranır. SGSN'den gelen GPRS paketlerini harici paket şebekeler için uygun bir paket bilgi protokol(PDP) yapısına dönüştürür ve bu paketleri transfer eder.

GGSN'e gelen paketlerin PDP adresleri, hedef kullanıcının GSM adreslerine çevrilir. Yeniden adreslendirilmiş paketler sorumlu SGSN'e yönlendirilirler [16]. Bu nedenden dolayı GGSN kullanıcın bağlı bulunduğu SGSN adresini ve kullanıcın profil bilgilerini yerel kayıtçılarında tutar. GGSN saydığımız özelliklerinin yanı sıra doğrulama ve fiyatlandırma da yapar. SGSN'ler ve GGSN'ler arasında çoklu bir bağlantı mevcuttur.

Bir GGSN bir çok SGSN'nin harici paket şebekelerle iletişimini sağlayan bir arayüzdür. Bir SGSN farklı GGSN'leri kullanarak farklı paket şebekelerine paket dağıtımını gerçekleştirir. Gb ara yüzü BSC/PCU(Packet Control Unit) ile SGSN arasındaki arayüzdür. Gn ve Gb ara yüzleri sayesinde kullanıcı bilgisi ve işaretleşme GSN'ler arasında aktarılır. SGSN ve GGSN arasındaki ara yüz, aynı PLMN'de ise Gn eğer farklı PLMN'lerde iseler Gp olarak adlandırılır. Bütün GSN'ler IP tabanlı GPRS ana şebeke(backbone) elemanı aracılığı ile haberleşir. Bu yapı içerisinde, GSN'ler PDN(Packet Data Network) paketlerini GTP(GPRS Tunelling Protocol) protokolünü kullanarak kapsüller.

İki çeşit GPRS ana şebekesi vardır. Intra-PLMN ana şebeke ağ'ı aynı PLMN'deki GSN'lerin haberleşmesi ile ilgilendir. Inter-PLMN anaşebeke ağ'ı farklı PLMN'deki GSN'lerin haberleşmesini sağlar. Farklı iki operatör arasında dolaşım(roaming) anlaşmasının olması şarttır. PLMN'lerle harici Inter-PLMN'ler arasındaki çıkış kapılarına sınır çıkış kapısı(BG:Border Gateways) denir.

Gb ve Gn arayüz tanımlamaları iki farklı SGSN arasında tanımlanır. SGSN Gf ara yüzü ile mobil istasyona ait IMEI numarasını sorgular. Gi ara yüzü GPRS şebekesi ile harici paket şebekeleri arasındaki arayüzdür. HLR, kullanıcı profil bilgisini,

SGSN adresini ve her kullanıcının PDP(Packet data Protocol) adres bilgisini tutar. SGSN ve HLR arasındaki ara yüz Gr olarak adlandırılır. SGSN kullanıcının anlık alan bilgisini HLR'a bildirir. Kullanıcı yeni SGSN'nin servis alanına girdiğinde, HLR SGSN'e kullanıcının profil bilgisini gönderir. HLR ile GGSN arasındaki Gc ara yüzü, GGSN'nin kullanıcı profilini ve alan bilgisini sorgulaması için kullanılır.

3.5.4 GPRS Servis Kalitesi

GPRS'de tipik mobil bilgi bağlantı uygulamaları için gerekli kalite servisleri oldukça geniştir. Her bağlantı için farklı olarak uygulanabilen servis kalite parametreleri GPRS sisteminin en önemli özelliklerindendir. GPRS'de tanımlı servis kalite parametreleri; öncelik, güvenilirlik, gecikme ve bilgi transfer hızıdır.

Servis önceliği, bir servisin başka bir servise olan önceliğidir. Servis önceliğinde 3 sınıf vardır. Bunlar yüksek, normal ve düşük olarak adlandırılırlar.

Güvenirlik, bir uygulama açısından gerekli olan aktarım karakteristiğidir. Kaybolma olasılığını belirli bir maksimum değeriyle sınırlama, tekrarlama, yanlış sıralama ve belirlenemeyen hataların düzeltilmesine göre oluşturulmuş 3 farklı güvenilirlik sınıfı mevcuttur.

Gecikme parametreleri ortalama gecikmenin maksimum değerini ve %95 gecikmeyi tanımlar. %95 gecikme, tüm transferlerin %95'indeki ortalama gecikmedir. Gecikme iki mobil istasyon arasındaki veya harici paket şebekesindeki terminalle mobil istasyon arasındaki transfer zamanını ifade eder. Bu gecikme GPRS şebekesi içersindeki gecikmeyi tanımlar. Bilgi transfer hızı, maksimum hız ve ortalama hız olarak tanımlanır.

Servis kalite parametreleri, her bağlantı için mobil kullanıcı ve şebeke arasında ifade edilir. Fiyatlandırma transfer edilen bilgi boyutu, servis kalite parametreleri ve servis tipine göre yapılır.

3.5.5 Paket ve Devre Bağlaşmalı Servisler

GSM/GPRS şebekesinde geleneksel devre bağlaşmalı ve paket bağlaşmalı servisler paralel olarak kullanılır.

A tipi mobil istasyon GSM ve GPRS bağlantısını aynı anda desteklemektedir. B tipi mobil istasyon, GSM ve GPRS bağlantısını desteklemektedir fakat aynı zamanda

sadece bir bağlantıya izin verir. C tipi mobil istasyon sadece GSM yada sadece GPRS bağlantısına izin verir.

3.5.6 Bağlantı ve Oturum Yönetimi

Bu bölümde bir mobil istasyonun GPRS şebekesine kayıt olmasını ve harici paket şebekesi ile iletişim için gerekli olan aktivasyonlar üzerinde durulacaktır.

3.5.6.1 GPRS Şebekesine Kayıt Olma/Silinme

GPRS telefonunun açılmasından sonra telefon, GPRS şebekesine kayıt olma talebini gönderir. Bu talep SGSN'e iletilir. SGSN abone doğrulamasını yapmak için, HLR'ı sorgular. Doğrulama başarılı ise, kullanıcıya geçici olarak P-TIMSI numarası verilir. Bu işlem GPRS'e kayıt olma(GPRS attach) olarak adlandırılır. GPRS kayıt silme telefonun kapatılması veya kapsama alanından çıkılması durumlarında gerçekleşir.

3.5.6.2 Bağlantı Yönetimi ve PDP Kaydı

GPRS'e başarılı ile kayıt işlemi gerçekleştikten sonra, harici paket şebekesi ile iletişimde bulunulması için kullanıcıya ait bir PDP(Packet Data Protocol) adresinin olması gerekmektedir. Her bağlantı için bir PDP konteksti yaratılır ve bu kayıt içerisinde bağlantının karakteristik özelliği, PDP tipi(Ipv4, Ipv6, X.25..vs), mobil istasyona verilen PDP adresi, talep edilen servis kalite parametreleri ve servis veren GGSN'nin adresi mevcuttur. Bu kontekst MS, SGSN ve GGSN içersine yüklenir. Aktif bir PDP kontekst sahip bir kullanıcı harici paket şebekesi tarafından görülebilir bir haldedir. Ve her iki yönde bilgi transferi yapılabilir.

3.5.7 GPRS Hava Arayüzü ve Fiziksel Katman

Fiziksel katmanda GSM FDMA(Frequency Division Multiple Access) ve TDMA(Time Division Multiple Access) kombinasyonunu kullanır. İki farklı 45MHz frekans bant aralığı GSM için rezerve edilmiştir. 890-915 MHz mobil istasyondan şebekeye, 925-960 MHz şebekeden mobil istasyona olacak şekilde iki frekans bant aralığı bulunmaktadır. Bu bant aralıklarının her biri 25 MHz olup, 200 KHz olan 124 kanala bölünmüştür. Bu kanallardan belirli numaralardakileri hücre kapsamı için BTS'lere tanımlanır.

Her bir 200 KHz frekans kanalı 8 adet TDMA kanalı taşır. Diğer bir ifadeyle 8 adet zaman dilimine(timeslot) bölünmüştür. TDMA kanalları TDMA çerçevesini

oluşturur. TDMA çerçevesindeki her bir zaman dilimi 156,25 bit zamanı kadardır. Bir zaman dilimi yaklaşık 576,9 mikro saniye sürmektedir [12]. Bir TDMA çerçevesi ise 4,613 milisaniyedir. GSM mobil istasyonu aynı zaman dilimini(timeslot) hem yukarı(uplink) hemde aşağı(downlink) yön için kullanır. GPRS'deki kanal paylaşılması GSM'den farklıdır. GPRS mobil istasyona aynı TDMA çerçevesi içersinde birden fazla zaman dilimi kullanma olanağı tanır.

Sonuç, çok uygun kanal paylaşılmasıdır. GPRS bir mobil istasyona, bir TDMA çerçevesi içersinde 1 ile 8 zaman dilimi kullanabilmeyi sağlar. Geleneksel GSM'de bir kullanıcıya konuşma boyunca kalıcı bir kanal tahsis edilir(Bilgi transferi olsun olmasın). Buna karşın GPRS'te bağlantı boyunca kanallar sadece bilgi transferi olduğu zaman tahsis edilir ve transferi bırakılır. Diğer bir ifadeyle kanallar, bilgi transferi boyunca kullanılmaktadır. Yoğun trafik durumlarında, bu kullanım çok etkilidir. Bir kanalın birden fazla kişi tarafından kullanılabilmesi ve kanalların sadece transfer boyunca tahsis edilmesi GPRS'in önemli özelliklerindendir. Bir hücrede kullanılan kanal havuzundan GPRS kanalları tahsis edilir. Bir kanalın paket bağlaşımına yada devre bağlaşımına tahsis edilmesinin kararı , trafiğe, servis önceliğine ve telefonların desteklediği çoklu kanal kullanım özelliğine göre değişir. GSM tarafından kullanılmayan kanallar GPRS kalitesini arttırmak için GPRS servisine tahsis edilebilir. Genelde GSM'in servis önceliği vardır.

3.5.8 GPRS'de Mantıksal Kanallar

Mantıksal kanalların başında, şebeke yayın, senkronizasyon, arama bildirim ve tahsis kanalları gelmektedir. GSM'de olduğu gibi bu kanallar işaretleşme ve trafik kanalları olmak üzere ikiye bölünmüştür. Paket bilgi trafik kanalları(PDTCH) kullanıcı bilgi transferi için kullanılırlar. Paket Yayın Kontrol Kanalı(PBCCH) aşağı yönde transfer edilir. PBCCH aynı zamanda GSM şebeke bilgilerini de verdiğiinden, GSM/GPRS mobil istasyonunun BCCH'yi dinlemesine gerek yoktur. Paket Ortak Kontrol Kanalları(PCCCH) her iki yönde transfer edilir. PCCCH şebeke ulaşım yönetimi, radyo kanal tahsisi ve arama bildirimi gibi işaretleşme bilgilerini içerir. Paket Tahsis Edilmiş Kontrol Kanalları(PDCCH) her iki yönde transfer edilir. Bir mobil kullanıcıya tahsis edilmiş bir veya daha fazla PDTCH ile ilgili güç kontrol ve işaretleşme bilgisini taşırlar. Eğer bir hücrede PBCCH yoksa BCCH, PCCCH yoksa CCCH kanalları GPRS için kullanılır.

3.5.8.1 GPRS Paket Bilgi Kanallarının Fiziksel Kanallara Paylaştırılması

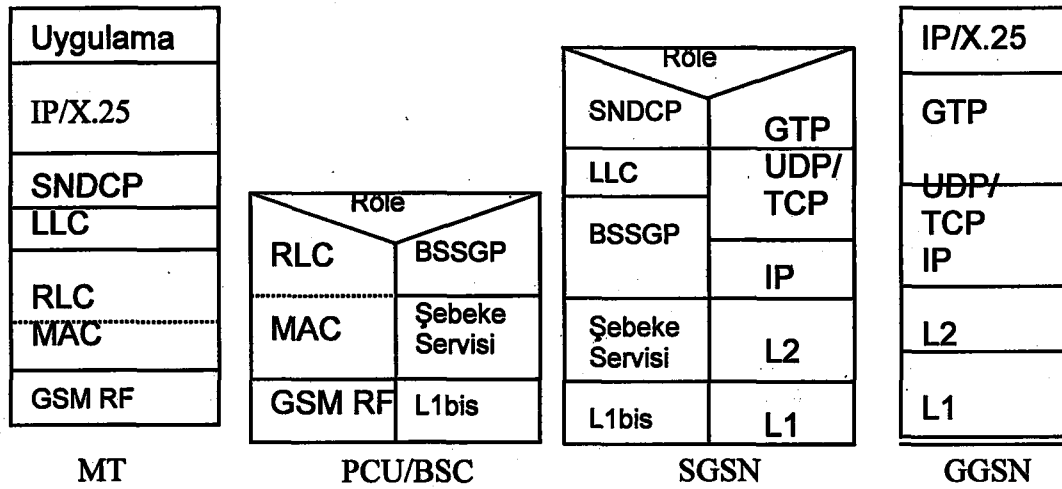
Mantıksal kanalların fiziksel kanallara paylaştırılması işleminin iki önemli aşaması vardır. Birincisi frekans paylaştırılması, ikincisi ise zaman paylaştırılması. Frekans paylaştırılması TDMA çerçeve numarası ve BTS'lere verilen frekans'a göre yapılır. Zaman paylaştırılması çoklu çerçeve karmaşık yapısı temelinde gerçekleştirilir. GPRS'de 52 TDMA çerçevesi çoklu çerçeveyi tanımlar. 4 TDMA çerçevesi bir radyo bloğunu oluşturur. 52 çoklu çerçeve yapısında 12 adet radyo bloğu, 2 adet paket güç kontrol çerçevesi ve 2 adet zamanlayıcı bilgisini taşıyan çerçeve mevcuttur.

3.5.9 GPRS' de Kanal Kodlaması

GPRS'de kanal kodlaması, transfer edilen bilgileri, transfer sırasında meydana gelebilecek hatalara karşı korumak için geliştirilmiştir. GPRS'de kullanılan kodlama tekniği GSM'dekine benzemekle birlikte, daha gelişmiştir. 4 farklı kodlama düzeni mevcuttur. Bunlardan ilki genelde interferans'ın güçlü olduğu ortamlardaki bilgi transferi için uygundur. Hata ve akış kontrolü için ayrılan alanın en fazla olduğu kodlama düzeni, kodlama düzeni 1(KD-1) dir. Kodlama düzeni 2, 3, 4 sırasıyla interferans'ın daha düşmesiyle uygulanan kodlama düzenleridir. Hangi kodlama düzenin kullanılacağı şebeke tarafından taşıyıcının servis kalitesi ve taşıyıcı sinyalinin interferans sinyaline olan büyüklüğüne(C/I:Carrier to Interference Ratio) göre karar verilir. KD-1'de transfer edilen kullanıcı bilgisi saniyede 9050 oktet iken, KD-4'de transfer edilen kullanıcı bilgisi saniyede 21400 oktettir. Dolayısıyla KD-4'deki hata ve akış kontrol alanı KD-1'e göre çok daha küçüktür. Sonuç olarak daha büyük bir kodlama düzenin kullanılabilmesi için sinyal seviyesinin daha güçlü ve interferansın daha düşük olması gereklidir.

3.5.10 GPRS'de Protokol Yapısı

Şekilde 3.3'de GPRS'de kullanılan protokol yapısı mevcuttur. Mobil terminalden başlayıp harici paket şebekesine kadar olan GPRS şebeke elemanlarındaki paket protokol yapısı gösterilmektedir. Şekilde yer alan protokol katmanlarını, hava ara yüzü protokol katmanları, ikinci katman protokol katmanları, çekirdek şebeke protokol katmanları olarak sınıflara ayırabiliriz [16].



Şekil 3.3 GPRS Protokol Yapısı

SGSN ve GGSN arasındaki GTP(GPRS Tunelling Protocol) kullanıcıya ait IP yada X.25 paketlerini taşır. GTP tünel kontrolü ve işletimini sağlar. Dolayısıyla her GPRS kullanıcısına ait paketler SGSN-GGSN arasında bir tünelleşme algoritmasıyla aktarılırlar. GTP'nin hemen altındaki protokol GTP paketlerinin şebeke içersindeki aktarımını sağlayan TCP yada UDP'dir. Özetle GPRS protokol yapısında, GTP protokolünün üzerinde IP/X.25 mevcut, şebeke çekirdek yapısında IP protokolünün üzerinde UDP/TCP protokolü mevcuttur.

SNDCP protokolü, SGSN ile MS arasındaki bilgi paketlerinin transfer edilmesini sağlar. MS ile şebeke arasındaki bilgi bağlantı katmanı ikiye bölünmüştür. LLC(MS ile SGSN arası) ve RLC/MAC(MS ile BSS arası) protokolleri. LLC protokolü MS ile SGSN arasında yüksek güvenilirlikli mantıksal bir bağlantı sağlar. Fonksiyonel olarak HDLC protokol yapısındadır ve sıra numarası kontrolü, akış kontrolü, hata sezme ve düzeltme gibi önemli görevleri vardır. Şifreleme sayesinde bilginin güvenilir aktarımı sağlanmış olur. LLC protokolünde değişen çerçeve boyutları mümkündür. Bu protokol'ün işleyiş yapısı GSM'de kullanılan LAPDm protokolünün işleyiş yapısına benzemektedir.

RLC/MAC protokolü hava ara yüzünde iki önemli görev yerine getirir. RLC'nin en önemli görevi MS ile BSS arasında güvenli bir bağlantı sağlamaktır. Bu görevinin yanında bilgi parçalaması ve LLC çerçevelerinden RLC radyo paketleri oluşturmak gibi önemli görevleri de vardır. MAC protokolü MS tarafından talep edilen radyo

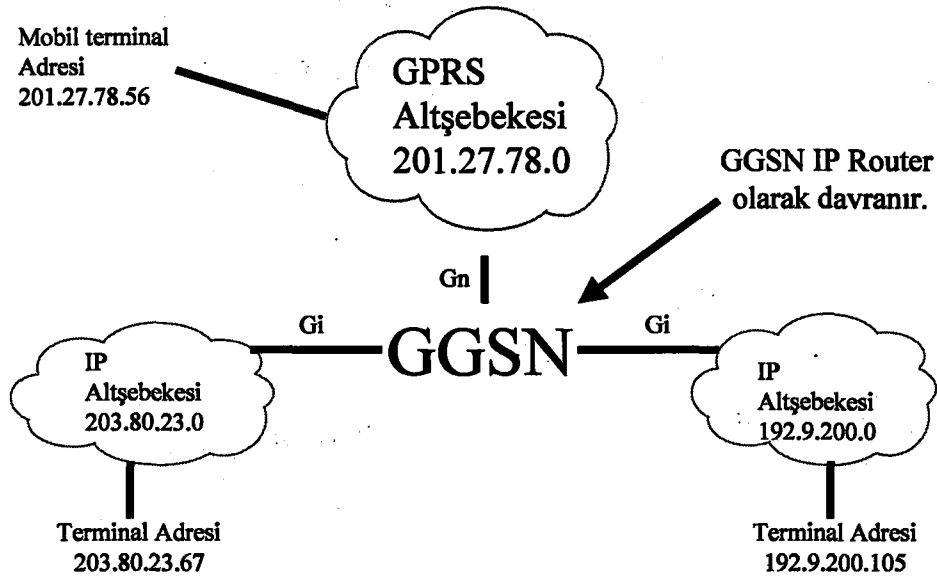
kanal ulaşım isteklerini kontrol eder. PDTCH'ler üzerindeki çerçeve paylaşımını ve çoğulluma gibi görevleri de yerine getirir.

MS ile BSS arasındaki fiziksel katman iki alt katmana ayrılır. Fiziksel bağlantı katmanı(PLL) ve fiziksel RF katmanı(RFL). Görevleri arasında kanal kodlaması, transmisyon hatalarının tespiti, fiziksel bağlantı engellemesinin tespiti, düzeltilemeyen hataların bildirilmesi, hata düzeltiminin bildirimi sayılabilir. RFL protokolü PLL altında çalışır ve modülasyon-demodülasyon işlevlerini yerine getirir.

BSSGP(BSS GPRS Uygulama Protokolü) BSS ile SGSN arasında çalışır. Rota tayini ve kalite profili ile ilgili bilgilerin dağıtımını üstlenir. Bu protokolün altındaki NS protokolü frame relay şebekesi tabanında çalışır.

3.6 GPRS ve IP Şebekesi

IP tabanlı şebekeler ile GPRS şebekesi arasındaki etkileşim en önemli konulardan biridir. IP tabanlı paket bilgi şebekelerinden Internet ve intranet'lerin GPRS şebekesi ile olan ilişkisi Şekil 3.4'de yer almaktadır. GPRS IPv4 ve IPv6'i destekler. Gi arayüzü GPRS ile IP şebekeleri arasındaki bağlantı noktasıdır. Internet tarafından bakıldığında GGSN bir IP router gibi davranır. Şekil 3.4'de GGSN'nin Gi arayüzü ile sağlanan GPRS-IP alt şebekeleri etkileşimi görülmektedir.



Şekil 3.4 GPRS ve IP Şebekesi

Şekil 3.4’de GPRS şebekesinden Internet’e nasıl bağlanıldığı verilmiştir. Her bir kayıtlı kullanıcıya harici paket şebekesi olan Internet ile paket alış verişinde bulunabilmesi için bir mobil IP adresi verilmelidir. IP adresi operatörün IP adres alanından verilir. Yüksek sayıda kullanıcıya servis verebilmek için dinamik adres tahsisi seçilmelidir. Bunun için şebekeye DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol Server) sunucu entegre edilmelidir. GSM adreslerinden IP adres çevrimi GGSN tarafından sağlanır. DNS (Domain Name Server) GPRS operatörü yada harici internet servis sağlayıcı tarafından işletilir. Sunucu adreslerinin IP adreslerine çeviren DNS sunucudur. Kayıtlı olmayan kullanıcıların GPRS şebekesine erişimleri, IP şebekesi ile GPRS şebekesi arasına entegre edilen güvenlik duvarıyla(Firewall) engellenir.

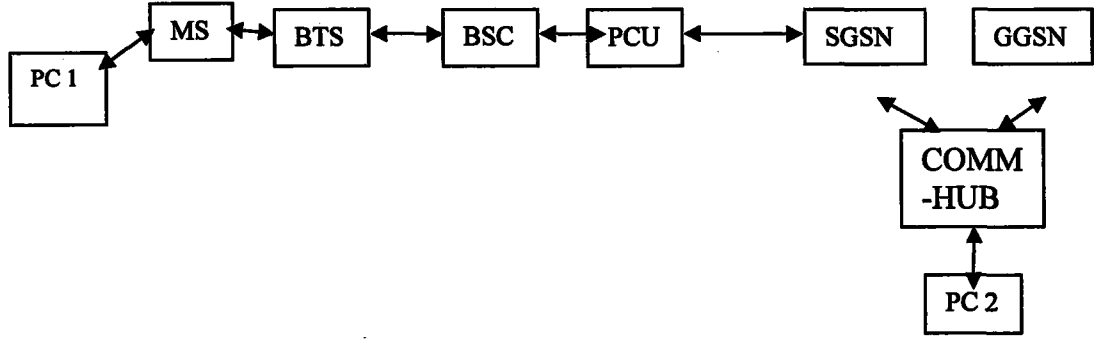
3.7 GPRS’ de Gecikme

Bir sistemdeki gecikme, bir paketin iki uç noktası arasındaki dolaşımı için geçirdiği süredir. Bu açıklama bu paketin büyüklüğünü, şebekedeki yoğunluğu ve servis önceliğini tanımlamaz.

Günümüzdeki haberleşme şebekeleri oldukça karışık bir yapıya sahiptir. Bu şebekelerde değişik protokoller ve teknolojiler mevcuttur. Masaüstü bilgisayardan gönderilen bir paket, ulaşacağı yere gidene kadar PSTN şebekesi, yüksek hızda bilgi şebekeleri, Ethernet yerel alan şebekeleri, kablosuz bilgi sistemleri gibi bir çok farklı ağ üzerinden geçmek zorunda kalabilir. Aktarımın bu kadar çeşitli protokol ve teknoloji içermesi, gecikmenin hesaplanmasını oldukça güçleştirir. Bizim bahsedeceğimiz gecikme; harici bilgi şebekelerindeki sunucu ve alıcı arasında GPRS sisteminden ve Ethernet LAN şebekesinden kaynaklanan gecikmedir. Harici bilgi şebekelerindeki gecikme ihmal edilebilir.

3.7.1 Uçtan Uca Gecikmenin Teorik Olarak Hesaplanması

Herhangi bir sistemde uçtan uca gecikme hesaplanırken, tek bir doğrultudaki gecikmeler ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Farklı iki doğrultudaki gecikmeler arasında herhangi bir simetrik yaklaşım yoktur. Diğer bir ifadeyle gecikme, aşağı yönde veya yukarı yöndeki gecikmenin iki katıdır şeklinde bir ifade doğru değildir. Şekil 3.4’de gecikmenin hesaplanacağı GPRS sistemindeki elamanlar mevcuttur.



Şekil 3.5 GPRS Şebekesindeki Gecikmede Etkili Elamanlar

3.7.2 Yukarı Yönde Gecikme

Yukarı yön ifadesiyle, Mobil istasyondan şebekeye doğru olan bilgi aktarım yönü ifade edilmektedir. Aşağıdaki parametreler PC1 ile PC2 arasındaki yukarı yöndeki gecikmeyi hesaplamakta kullanılan parametrelerdir.

PC1 ile MS arasındaki transit zamanı($T_{PC1-TMS}$): MS'in PC'den gelen paketleri alıcıya kadar geçen zaman.

PC işlemci zamanı(T_{PC}): PC'nin GPRS paketlerine TCP/IP bilgilerini ve başlık bilgilerini koyma zamanı.

MS transit zamanı(T_{MS}): MS'den paketin alınmasından sonra, hava ara yüzden aktarımda kullanılacak kanal tahsisi mesajının atılmasına kadar geçen süre.

MS'den PCU'ya aktarım zamanı: T_{MS-PCU}

PCU transit zamanı: T_{PCU}

PCU ile SGSN arasındaki aktarım zamanı: $T_{PCU-SGSN}$

SGSN transit zamanı: T_{SGSN}

SGSN ile CommHub arasındaki transit zamanı: $T_{SGSN-CH}$

CommHub transit zamanı: T_{CH}

CommHub ile GGSN arasındaki transit zamanı: $T_{CH-GGSN}$

GGSN transit zamanı: T_{GGSN}

GGSN ile CommHub arasındaki transit zamanı: $T_{GGSN-CH}$

CommHub transit zamanı: T_{CH}

İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

CommHub ile PC2 arasındaki transit zamanı: T_{CH-PC2}

Yukarı yöndeki gecikme($U_{gecikme}$) aşağıdaki formülle bulunur.

$$U_{gecikme} = T_{PC1-TMS} + T_{MS} + T_{MS-PCU} + T_{PCU} + T_{PCU-SGSN} + T_{SGSN} + T_{SGSN-CH} + T_{CH} + T_{CH-GGSN} + T_{GGSN} + T_{GGSN-CH} + T_{CH} + T_{CH-PC2} \quad (3.1)$$

TBF(Temporary Block Flow), RLC/MAC bloklarının transferi için LLC çerçevelerine özel oluşturulan bir akış kontrolüdür. Teorik olarak gecikmeyi bulabilmek için yukarıdaki adı geçen parametrelerden bir kaçını iyi analiz etmemiz gerekir. Bunlar $T_{PC1-TMS}$, T_{MS-PCU} , $T_{TBFSETUP}$ dir. Bu parametreler aşağıdaki formüller kullanılarak bulunur.

$$T_{PC1-TMS} = T_{PC1} + T_{IRDA} / (RS232) \quad (3.2)$$

$$T_{MS-PCU} = (\text{PCU'ya en son RLC bloğunun gönderildiği zaman}) - (\text{İlk kanal talebinin gönderildiği zaman}) \quad (3.3)$$

$$T_{MS-PCU} = T_{TBFSETUP} + T_{TBF\text{Bilgi}}$$

$$T_{TBFSETUP} = (\text{Yukarı yönde ilk RLC bilgi bloğunun gönderildiği zaman}) - (\text{İlk kanal isteğinin gönderildiği zaman}) \quad (3.4)$$

$$T_{TBF\text{Bilgi}} = (\text{Yukarı yönde son RLC bilgi bloğunun gönderildiği zaman}) - (\text{Yukarı yönde ilk RLC bilgi bloğunun gönderildiği zaman}) \quad (3.5)$$

Tablo 3.1'de, 32 oktet uzunluğundaki paketin yukarı yönde gönderilmesi için gerekli olan teorik TBF oluşturma ve bilgi zamanı mevcuttur. Bu değer Kodlama düzeni 1 ve Kodlama düzeni 2 için verilmiştir.

Tablo 3.1 Yukarı Yönde TBF Oluşturma Zamanı

TBF Oluşturma zamanı	TBF Bilgi Zamanı 1 Zaman Dilimi, KD-1	TBF Bilgi Zamanı 1 Zaman Dilimi, KD-2
230 msan	60 msan	41.5 msan

Bu bilgiler ışığı altında, yukarı yönde 32 oktet uzunluğundaki bir paketin gecikmesinin değerini katman katman gösteren Tablo 3.2 aşağıda verilmiştir. Kodlama düzeni 1 ve 2 için ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 3.2 GPRS Arabirimlerindeki Gecikmeler(Yukarı Yön)

Faz	Kodlama Düzeni-1	Kodlama Düzeni-2
T _{PC-MS} (milisaniye)	3.28	3.28
T _{MS-PCU} (milisaniye)	290	271.5
T _{PCU-SGSN} (milisaniye)	0.3	0.3
T _{SGSN-PDN} (milisaniye)	~0	~0
Total (milisaniye)	293.58	275.08

3.7.3 Aşağı Yönde Gecikme

Aşağı yön ifadesiyle, şebekeden mobil istasyona doğru olan bilgi aktarım yönü ifade edilmektedir. Aşağıdaki parametreler PC2 ile PC1 arasındaki yukarı yöndeki gecikmeyi hesaplamakta kullanılan parametrelerdir.

PC2 ile CommHub arasındaki transit zamanı T_{PC2-CH} ile ifade edilir.

CommHub transit zamanı T_{CH} ile ifade edilir.

CommHub ile GGSN arasındaki transit zamanı T_{CH-GGSN} ile ifade edilir.

GGSN transit zamanı T_{GGSN} ile ifade edilir.

GGSN ile CommHub arasındaki transit zamanı T_{GGSN-CH} ile ifade edilir.

CommHub transit zamanı T_{CH} ile ifade edilir.

CommHub ile SGSN arasındaki transit zamanı T_{CH-SGSN} ile ifade edilir.

SGSN transit zamanı T_{SGSN} ile ifade edilir.

SGSN ile PCU arasındaki aktarım zamanı T_{SGSN-PCU} ile ifade edilir.

PCU transit zamanı T_{PCU} ile ifade edilir.

PCU'dan MS'e aktarım zamanı T_{PCU-MS} ile ifade edilir.

MS transit zamanı T_{MS} ile ifade edilir.

MS ile PC1 arasındaki transit zamanı T_{MS-PC1} ile ifade edilir.

Bu parametreler ışığı altında aşağı yöndeki gecikme, aşağıdaki formülle bulunur.

$$D_{\text{gecikme}} = T_{\text{PC2-TCH}} + T_{\text{CH}} + T_{\text{CH-GGSN}} + T_{\text{TGSN}} + T_{\text{TGSN-CH}} + T_{\text{CH}} + T_{\text{CH-SGSN}} + T_{\text{TGSN}} + T_{\text{TGSN-PCU}} + T_{\text{PCU}} + T_{\text{PCU-MS}} + T_{\text{MS}} + T_{\text{MS-PC1}} \quad (3.6)$$

Bu formülü kullanılarak aşağı yöndeki gecikmeyi teorik olarak hesaplamak için bazı parametreleri detaylı analiz etmemiz gerekir. Bu amaçla aşağıdaki formüller kullanılır;

$$T_{\text{PCU-MS}} = T_{\text{TBFSETUP}} + T_{\text{TBFBilgi}} \quad (3.7)$$

$$T_{\text{TBFSETUP}} = (\text{Aşağı yönde ilk RLC bilgi bloğunun alındığı zaman}) - (\text{İlk kanal istek cevabının alındığı zaman}) \quad (3.8)$$

$$T_{\text{TBFBilgi}} = (\text{Aşağı yönde son RLC bilgi bloğunun alındığı zaman}) - (\text{Aşağı yönde ilk RLC bilgi bloğunun alındığı zaman}) \quad (3.9)$$

Aşağıdaki tabloda, 32 oktet uzunluğundaki paketin aşağı yönde gönderilmesi için gerekli olan teorik TBF oluşturma ve bilgi zamanı mevcuttur. Bu zaman Kodlama düzeni 1 ve kodlama düzeni 2 için verilmiştir.

Tablo 3.3 Aşağı Yönde TBF Oluşturma Zamanı

TBF Oluşturma zamanı	TBF Bilgi Zamanı 1 Zaman Dilimi, KD-1	TBF Bilgi Zamanı 1 Zaman Dilimi, KD-2
581 msan	60 msan	41.5 msan

Bu bilgiler ışığı altında, aşağı yönde 32 oktet uzunluğundaki bir paketin gecikmesinin değerini katman katman gösteren Tablo 3.4 aşağıda verilmiştir. Kodlama düzeni 1 ve 2 için ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 3.4 GPRS Arabirimlerindeki Gecikmeler(Aşağı Yön)

Faz	Kodlama Düzeni-1	Kodlama Düzeni-2
$T_{\text{PDN-SGSN}}$ (milisan)	~0	~0
$T_{\text{TGSN-PCU}}$ (milisan)	0.3	0.3
$T_{\text{PCU-MS}}$ (milisan)	641	622.5
$T_{\text{PC-MS}}$ (milisan)	3.28	3.28
Total (milisan)	644.58	626.08

3.7.4 GPRS Şebekesinde RTT

Yukarıda anlatılan aşağı yönde ve yukarı yönde gecikmenin teorik olarak hesaplanma teknikleri ve parametreleri kullanılarak GPRS şebekesindeki asıl gecikme olan RTT değeri hesaplanabilir.

GPRS mobilin bağlı olduğu PC tarafından başlatılan yankı mesajı ile RTT değerinin bulunması için şu formül kullanılır.

$$RTT_{\text{yukarı yönde}} = \text{Yukarı yönde gecikme}(U_{\text{gecikme}}) + \text{Yukarı yönde TBF deaktivasyonu} + \text{Aşağı yönde gecikme}(D_{\text{gecikme}}) \quad (3.10)$$

Bu bilgileri kullanılarak 32 oktet uzunluğundaki bir paketin GPRS mobil bağlı bir bilgisayardan gönderilip, şebekeden tekrar geri dönmesine kadar geçen zaman ($RTT_{\text{yukarı yönde}}$), kodlama düzeni 1 ve 2 için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tablo 3.5 Yukarı Yönde RTT

Kodlama Düzeni-1				Kodlama Düzeni-2			
UL Gecikme msan	UL TBF silme (msan)	DL Gecikme msan	UL RTT msan	UL Gecikme msan	UL TBF silme (msan)	DL Gecikme msan	UL RTT msan
293.5	36.9	644.5	975	275	36.9	626.0	938

Harici bilgi şebekesindeki bir sunucu tarafından başlatılan yankı mesaj'ının RTT değerinin bulunması için aşağıdaki formül kullanılır.

$$RTT_{\text{yukarı yönde}} = \text{Aşağı yönde gecikme}(D_{\text{gecikme}}) + \text{GPRS zamanlayıcı süresi} + \text{Yukarı yönde gecikme}(U_{\text{gecikme}}) \quad (3.11)$$

Bu bilgileri kullanılarak 32 oktet uzunluğundaki bir paketin harici bilgi şebekesindeki bir sunucu tarafından gönderilip, tekrar geri dönmesine kadar geçen zaman (RTT_{DL}), kodlama düzeni 1 ve 2 için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

GPRS zamanlayıcısı, TCP transferinin çok yoğun olmadığı durumlarda ihmal edilebilir. Tablo 3.6'da aşağı yönde başlatılan teorik RTT değerini bulabilirsiniz.

Tablo 3.6 Aşağı Yönde RTT

Kodlama Düzeni-1				Kodlama Düzeni-2			
DL Gecik. msan	Gprs_zam anlayıcı msan	UL Gecik. msan	DL RTT msan	DL Gecik. msan	Gprs_zam anlayıcı (ms)	UL Gecik. (ms)	DL RTT (ms)
644.5	--	293.5	938.1	626	--	275	901.1
644.5	500	293.5	1438.1	626	500	275	1401.1

Motorola GPRS şebekesi kullanılarak yapılan ölçümlerde aşağıdaki tablodaki RTT değerleri bulunmuştur. İlk deneme için 100 tane test yapılmış. Tek zaman dilimi ve kodlama düzeni-1 kullanılmıştır. 32 oktet boyutunda yukarı yönde bilgi aktarımı gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7 Yukarı Yönde Gecikme Deney Sonuçları-1

Kodlama Düzeni-1	Ortalama (msan)	Standard Sapma (msan)	Minimum (msan)	Maksimum (msan)
UL Gecikme	730.288	126.356	438.216	3761.749

İkinci deneme için 100 tane test yapılmış. Tek zaman dilimi ve kodlama Düzeni-1 kullanılmıştır. 32 oktet boyutunda aşağı yönde bilgi aktarımı gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8 Aşağı Yönde Gecikme Deney Sonuçları

Kodlama Düzeni-2	Ortalama (msan)	Standard Sapma (msan)	Minimum (msan)	Maksimum (msan)
DL Gecikme	1598.621	290.484	834.525	3935.933

Üçüncü deneme için 100 tane test yapılmış. Tek zaman dilimi ve kodlama Düzeni-2 kullanılmıştır. 32 oktet boyutunda yukarı yönde bilgi aktarımı gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.9 Yukarı Yönde Gecikme Deney Sonuçları-2

Kodlama Düzeni-2	Ortalama (msan)	Standard Sapma (msan)	Minimum (msan)	Maksimum (msan)
UL RTT	1848.669	170.207	1355	3707

Yapılan ölçümlerde, teorik olarak hesaplanan RTT ve Gecikme değerlerinin pratikte farklı olduğu tespit edilmiştir. Tablo 3.10’da bu farkların değerleri verilmiştir.

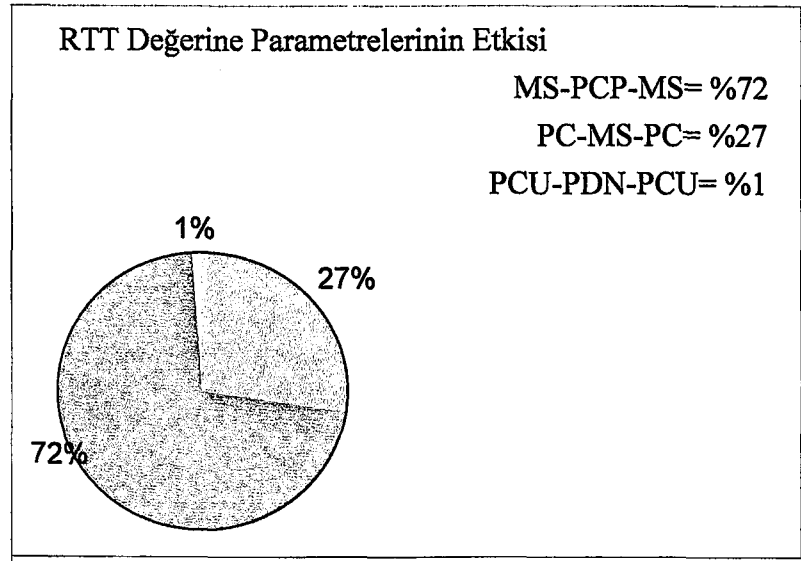
Tablo 3.10 RTT Deney Sonuçları

DL Gecikme		UL Gecikme		RTT UL yönünde	
Teorik (ms)	Ölçülen (ms)	Teorik (ms)	Ölçülen (ms)	Teorik (ms)	Ölçülen (ms)
644.58	834.525	293.58	438.216	975.08	1355

Aradaki farkın nedeni mobil istasyonla bilgisayar arasındaki aktarım zamanının 370 milisaniye farklı oluşudur. Fark yaratan diğer bir etken ise harici paket şebekesi ile PCU arasındaki zamanın 14 milisaniye farklı oluşudur.

3.7.5 RTT’ yi Etkileyen Parametrelerin Etkileme Yüzdesi

Yapılan teorik ve deneysel araştırma sonucunda GPRS’de RTT değerini etkileyen parametrelerin etkileme yüzdesi Şekil 3.6’de verilmiştir. Bu sonuç, Mobil istasyon ile PCU arasındaki zamanın RTT üzerinde %70 ile %75 arasında etkisi olduğunu ortaya çıkarmıştır. Dolayısıyla gecikme konusunda yapılan çalışmalar, bu iki eleman arasındaki gecikmeyi optimum edecek şekilde yapılmalıdır. Aşağıda RTT değerine etki eden parametreler ve etkileme yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 3.6 RTT Değerine Parametrelerinin Etkisi

4. KABLOSUZ ŞEBEKEDK TCP/IP OPTİMİZASYONU

Günümüzde mevcut çoğu güvenilir aktarım protokolleri kablolu ağlar için dizayn edilmişlerdir. Bu protokollerin ortaya çıkarılmasından sonra yeni ağ'lar genelde kompozit bir yapıya dönüşmüştür. Bu ağ'lar kablolu şebeke ile kablosuz ağ'ları birleştiren heterojen ağlar olarak adlandırılmaktadırlar. Yapılan araştırmalara göre, kablosuz ağlardaki yıllık büyüme %35 ile % 60 arasındadır ve 2005 yılında dünyadaki mobil kullanıcı sayısının 1 milyar olması beklenmektedir. Kablosuz şebekelerdeki bilgi aktarımı konusundaki gelişmelere paralel olarak, mobil bilgi kullanıcısının da her yıl % 30 oranında artmasına neden olacağı açıktır. Bu artışa paralel olarak TCP protokolünün performansının kablosuz şebekeler için efektif ve optimum hale getirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir.

Güvenilir aktarım protokollerinden biri olan TCP'nin kablosuz şebekelerdeki hata oranı % 1'in oldukça altındadır ve paket kayıpları şebekedeki aşırı yüklenmeden dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu bölümün genelinde Kablosuz şebeke özelliklerinden ve TCP performansını arttırmak için uygulanan tekniklerden söz edilecektir.

4.1 TCP ve Kaybolan Paket İşareti

Kablosuz şebekelerin özelliklerini detaylı incelemeyden önce TCP'nin aşırı yüklenme durumunda hangi uygulamaları nasıl işlettiğini hatırlamakta yarar vardır. Bilindiği üzere şebekedeki yük nedeniyle router'lar ve sunuculardaki tampon alanları tüm kapasitesini kullanmakta ve bazı paketlerin kaybolmasına neden olmaktadır [11]. Dolayısıyla şebeke uç noktaları tıkanıklık engelleme işlemini uygulamakta ve muhtemel tıkanıklık kilitlenmesini engellemeye çalışmaktadırlar.

Tıkanıklığın bir kaç tane nedeni vardır. Bunlardan birincisi, sunucu tarafın gönderme hızının(birim zamanda gönderdiği paket sayısı) alıcı taraftan(birim zamanda kabul edilen paket sayısı) yüksek olmasıdır. İkinci neden bir router'a gelen girdi toplamının router'ın çıktıya ayırdığı bant genişliğinden fazla olmasıdır.

TCP'nin hata düzeltmesi işlemine geçişinin temelinde RTT ve RTO değerleri vardır. Bağlantı sırasında RTT değerlerinin ortalaması ve standart sapmasına göre hesaplanan RTO değeri hata düzeltmesinin başlatılması için tetik görevini üstlenir. Eğer bir paketin alındığına dair gönderilen mesaj ortalama gecikmeden 4 standart sapma zamanı kadar fazla ise TCP tıkanıklık engelleme fazına geçer. 3 tane DUPACK mesajının alınmasıyla TCP'nin hızlı düzeltme işlemini uyguladığı ve her iki faz'da işletilen algoritma daha önceki bölümlerde verilmişti. Tıkanıklık penceresinin her RTT zamanında bir segment arttırıldığı da anlatılmıştı.

Bu bilgiler ışığı altında bir paketin kaybolduğuna karar verilirken iki parametre üzerinde durulur

- Gönderici taraftaki RTO değeri
- 3 tane DUPACK mesajının alınması.

Bir paketin RTO eşik değerini geçmesinden dolayı kaybolduğuna karar verilince, TCP bunun nedenin tıkanıklık olduğunu düşünür, yavaş başlama işlemini başlatır ve daha sonra tıkanıklık engelleme fazına geçer. 3 tane DUPACK mesajının alınması paketin kaybolduğundan daha fazlasına işaretler. Alıcı tarafın DUPACK mesajını üretiyor olması aktarımın devam ettiğini ve alıcı tarafın tampon alanın kapasitesinin dolmadığının bir işaretidir. Bu durumda ise TCP hızlı düzeltme işlemini başlatır ve tıkanıklık engelleme fazına geçer. Bu fazlar hakkında detaylı bilgi daha önceki bölümlerde anlatılmıştı.

4.2 Kablosuz Şebeke Özellikleri

Kablosuz şebekeler üç sınıfa ayrılır. Bunlar;

- Hücreli ağ'lar. Mobil istasyon baz istasyonu aracılığı ile sabit şebekelere bağlanır. Günümüzde kablosuz ağların en fazla kullanıldığı çeşittir. Tüm servis sağlayıcılar sabit şebeke tarafında olduğu için, kablosuz şebekedeki problemlerin incelenmesi gereklidir.
- Belirli bir radyo mesafesinde birbirleriyle direkt iletişim halindeki mobil istasyonların oluşturduğu telsiz ağlar. Bu ağ'lar çok fazla yaygın değildir. Bunlarla ilişkili performans çözümleri geliştirilmemiştir.

- Uydu ağ'ları gönderici ile alıcı arasında yüksek BER'in olduğu ağlardır. Bu ağ'lardaki performansın incelenmesine gerek yoktur. Bu ağ'lardaki gecikme bir çok parametreden etkilenmektedir.

Hücreli ağ'lar TCP performansının optimum hala getirilmesi konusunda en sık araştırma yapılan ağlardır. Bu ağ'lara ilişkin bir çok performans geliştirme teknikleri mevcuttur.

Sabit şebekeler kablosuz şebekelere göre daha güvenlidir. Bundan dolayı, TCP paket kaybının tıkanıklıktan dolayı ortaya çıktığı varsayımını yapar. Bununla birlikte kablosuz ağ'lar bir çok problemi beraberinde getirir. Bu problemler şunlardır:

- Bit Hata Oranı(BER): Mobil terminal bağlantı için radyo aktarımı yada kızılötesi dalga aktarımı yapılabilir. Kablosuz ağ'daki BER değeri kablolu ağ'lara oranla daha yüksektir. Kablosuz şebekedeki ortam değişikliği, BER değerindeki ani sapmalara neden olur. Kablolu şebekelerdeki BER değeri 0,000001 ile 0,00000001 arasında değişirken, kablosuz şebekelerde BER değeri 0,001 ile 0,1 arasında değişir.
- Bant genişliği: Kablosuz ağ kablolu ağ'a göre daha az bant genişliği kullanımına izin verir. Kablosuz şebekelerdeki bant genişliği saniyede maksimum 2 Megabit iken kablolu ağlarda 10 ile 100 Megabit arasında değişir.
- RTT: Kablosuz şebekelerdeki gecikme kablolu şebekelere göre daha fazladır. Paketler radyo ara yüzü ile transfer edilmesine rağmen bant genişliğinin kablolu ağ'lara göre daha az olması paketlerin aktarım zamanını artırır. Bu, saniyede aktarılan kullanıcı bilgi miktarının düşmesine ve gecikmeye neden olur. TCP protokol yapısında RTT değerine göre karar verme mekanizmaları olması performansı etkilemektedir.
- Kısa aktarımlar: Kablosuz şebekelerdeki bağlantılar, tıkanıklık penceresi maksimum boyutuna gelmeden sona erer.
- Gezicilik: Mobil istasyonların hareketli olmalarından ötürü servis aldıkları baz istasyonları değişebilir. Bu durumlarda eski baz istasyonundan mobil istasyona gönderilen paketler kaybolur. Benzer şekilde mobil istasyondan eski baz istasyonuna gönderilen paketler kapsama nedeniyle kaybolur.

- **Güç Harcaması:** Mobil istasyon, baz istasyonu ile karşılaştırıldığında baz istasyonuna göre sınırlı güç ve işlemciye sahiptir. Bu da bağlantının performansını etkiler.

4.3 Kablosuz Şebekelerde TCP Performansını Etkileyen Faktör

Ana problem şebeke uç noktası tarafından bant genişliğinin efektif olarak seçilememesidir. Bu da uygulama katmanında performans ve hız düşüklüğüne, ve de beklemeyen gecikmeye neden olur. Bunun asıl nedeni, heterojen(kablolu + kablosuz) şebekelerde bir paketin aktarılmasında meydana gelen gecikme TCP tarafından tıkanıklık olarak algılanır [11]. Bunun sonucu olarak, yavaş başlama algoritması işletilir ve tıkanıklık penceresi boyutu 1 MSS büyüklüğüne çekilir, RTO zamanlayıcısı sıfırlanır.

Daha önceden de belirtildiği gibi TCP kablolu ağ'lar için ortaya çıkarılmış güvenilir aktarım katmanı protokolüdür. Kablosuz ağ'lar için efektif hale getirilmesi gerekmektedir. TCP'nin kablosuz ağ'da, tıkanıklıktan dolayı meydana gelmeyen paket kayıplarına iyi reaksiyon vermesi için bir çok teknik ve uygulama vardır. Bazı araştırmacılar bağlantı katmanında çözümler üretmişler, bazıları da TCP'yi revize etme yoluna gitmişlerdir. Bundan sonraki konularda bu tekniklerin detaylı analizi yapılacak ve TCP performansının GPRS ve diğer kablosuz şebekelerde nasıl etkileneceği incelenecektir.

4.4 TCP Performansının GPRS Üzerinde İyileştirme Teknikleri

Bu bölümde, kablosuz şebekelerdeki TCP performansını geliştirme teknikleri ve protokolleri incelenecektir. Performansı etkilediği düşünülen ve tekniklerin genelde üzerinde durduğu parametreler şunlardır:

- Tıkanıklıktan kaynaklanan kayıplar
- Hata kayıpları
- RTO'nun eşik değerine ilişkin gecikme
- 3 DUPACK mesajının alınmasındaki neden.

Kullanılan performans geliştirme uygulamaları şu şekilde sıralanabilir.

- Bağlantı katmanı yaklaşımı
- Yazılım seviyesinde aktarım katmanı yedekleme yaklaşımı
- Yazılım seviyesinde çapraz katman işaretleşme yaklaşımı
- Donanım seviyesinde aktarım katmanı yedekleme yaklaşımı
- Uçtan uca aktarım katmanı yedekleme yaklaşımı

4.4.1 Bağlantı Katmanı Yaklaşımı

Bu yaklaşımda amaç, kablosuz şebekedeki olumsuzlukları üst katman protokollerine yansıtmamaktır. Bu protokolle kablosuz şebekeden kaynaklanan problemler büyük ölçüde çözülür fakat kritik olan faktör bağlantı katmanı zaman aşımı değeridir. Bu teknik tek başına gönderici tarafın zaman aşımı değerini aşmasını ve tıkanıklık engelleme fazına girmeyi engelliyemez. Bu protokol hata kontrolü için FEC(Forward error correction), kayıp paketlerin tekrar gönderilmesi için ARQ(Automatic Repeat Request) gibi teknikleri uygular [10]. Bu protokole örnek olarak AIRMAIL protokolü gösterilebilir. TCP’de bağlantı katmanı tekrar gönderme zaman aşımı değeri ile aktarım katmanı zaman aşımı değeri arasındaki ilişki performansın düşmesine neden olabilir. Bu değerlerin seçiminde dikkatli davranılmalıdır.

4.4.2 Yazılım Seviyesinde Aktarım Katmanı Yedekleme Yaklaşımı

Bu yaklaşım yazılım seviyesinde geliştirilmiş bir tekniktir. Uçtan uca bağlantı bütünlüğü yoktur. Aktarım katmanı seviyesinde koşan bir yazılımdır. Kablosuz şebekedeki problemleri gönderici tarafa yansıtmadan çözmeyi yedekleme tekniği ile sağlar. Bu yaklaşımın en büyük dezavantajı baz istasyonunda yeni yazılım yüklenmesi yada mevcut yazılımın güncellenmesidir [9]. Şifreleme yapılması durumunda kullanılamaz çünkü baz istasyonu aktarım katmanı başlık bilgisini yorumlamak zorundadır. Bu yaklaşıma örnek protokol snoop protokolüdür.

4.4.2.1 Snoop Protokolü

Snoop protokolü TCP aktarım katmanını tanıyan bir protokoldür. Baz istasyonunda şebeke katmanı(IP) yazılımında güncelleme snoop adlı modülün baz istasyonuna yüklenmesiyle mümkündür. Snoop modülü her iki yönde akan paketleri izler. Sabit terminalden gezici terminale yollanmış ve bilgilendirme(ACK) mesajı alınamamış TCP paketlerini yedekler. Sabit terminalden gelen yeni paket yedeklenir ve gezici

istasyona aktarılır. Snoop protokolü aynı zamanda gezici istasyondan gönderilen bütün bilgilendirme paketlerini de takip eder. Eğer paket kaybı tespit edilirse (DUPACK mesajının alınması yada zaman aşımı sona ermesi), kayıp paket hemen tekrar gönderilir. Bu sayede baz istasyonu kayıp paketleri sabit terminalden gizlemiş olur. Dolayısıyla gönderici tarafın gereksiz yere tıkanıklık engelleme fazına girmesini engeller.

Baz istasyonundaki snoop protokolü ikiye ayrılır ; snoop_dt (sabit terminalden gelen paketlerle ilgilenir) ve snoop_ack(mobil istasyondan gelen ACK paketleriyle ilgilenir). Sabit terminalden bilgilerin gelmesi durumunda snoop_dt'nin yerine getirdikleri ile mobil istasyondan gelen bilgilendirme(ACK) paketlerinin gelmesi durumunda snoop_ack yerine getirdikleri incelenecektir.

Bu protokol mobil istasyondan sabit terminale aktarım sırasında TCP'deki SACK(Selective Acknowledgement) bazında NACK(Negative Acknowledgement) tekniğini kullanır [7]. Bu baz istasyonunda SACK üretimini ve gezici istasyon tarafında bu paketlerin yorumlanması gerektirmektedir. Sabit terminal tarafında herhangi bir değişikliğe gerek yoktur. SACK TCP'de opsiyonel olarak uygulanan bir standarttır. Normal uygulamada gönderilen paketlere ait bilgilendirme mesajı tüm segmentler için geçerlidir. Bu segmentler içersinde herhangi bir segment kayıp ise DUPACK mesajı gönderilir ve hangi paketin kayıp olduğu bildirilmez. SACK kullanılırsa hangi segment'in kayıp olduğu da bildirilir.

Yeni hücre seçiminde gezici istasyonun servis alacağı muhtemel baz istasyonlarına bilgi paketleri gönderilir. Mobil istasyon yeni seçtiği istasyona bilgi verir ve bu sayede baz istasyonunun yedekleme alanı güncellenir.

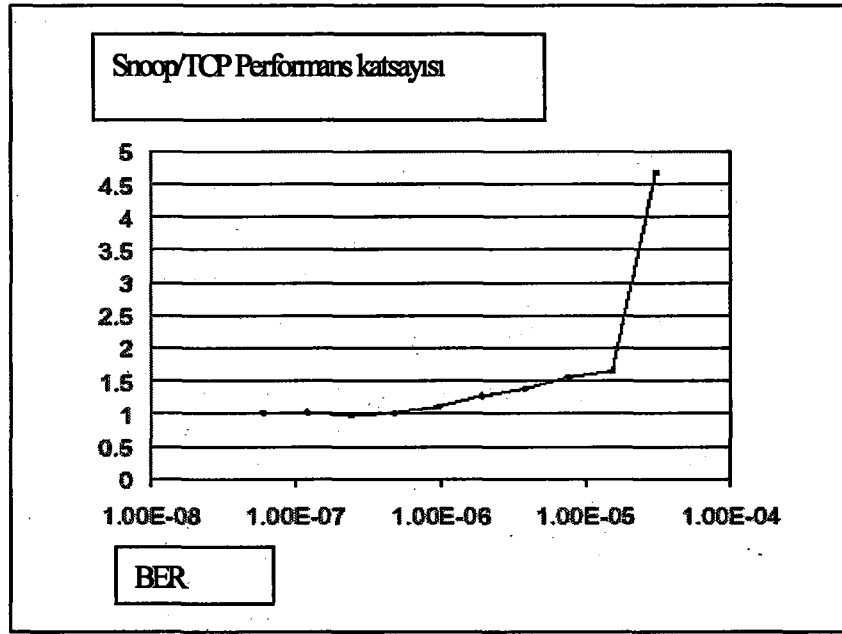
Bu protokolün dezavantajları şunlardır.

- Tekrar eden kayıplardan veya kablolu şebekeden kaynaklanan bit hatalarından gönderici taraf zaman aşımına uğrayabilir.
- Bu protokol şebeke katmanında TCP bilgisini kullandığı için şifreleme yapılamaz.

Snoop protokolü kullanılarak kablolu şebekedeki TCP performansını 4-5 kat daha efektif hale getirmiş oluruz [6]. Snoop protokolü TCP'nin uçtan uca bağlantı yapısına saygılıdır. Her iki uç noktasındaki ACK yapısı değişmez.

Hücre seçimi için geçen zaman snoop protokol yaklaşımında yine buna çok benzer bir yaklaşım olan I-TCP(Indirect TCP)'ye göre oldukça düşüktür. İleriki bölümlerde detaylı olarak incelenecek I-TCP'deki hücre aktarım zamanı 265 ile 1400 milisaniye arasında değişirken snoop protokol yapısında bu zaman 5 ile 70 milisaniye arasındadır. Normal TCP'de mobil istasyonun hücre seçiminden sonra uygulanan hızlı düzeltme algoritması gecikmeyi düşürmekte çok başarılıdır. Fakat bit hatalarında performansı oldukça düşüktür. Buna ilaveten, yeniden gönderme mobil istasyonun aldığı en son paketten başlar.

Diğer bir problem ise gönderici tarafın, aktarım pencere büyüklüğünü hızlı düzeltme işlemi başlamadan düşürmesidir. Bu nedenden ötürü bir çok TCP uygulaması hızlı düzeltme algoritmasını sağlamaz. Aksine, snoop protokolünde hücre seçiminden sonra bağlantı uzun süre boş kalmaz çünkü baz istasyonu yedeklediği paketleri mobil istasyon hücre seçimi yaptıktan hemen sonra mobil istasyona gönderir. Snoop protokolü uygulanarak yapılan TCP bağlantılarında, düşük hata bit oranlarında TCP performansının değişmediği fakat yüksek hata bit oranlarında TCP performansının arttığı tespit edilmiştir. Snoop'un RTO değeri TCP'den biraz düşüktür. Bunun nedeni snoop RTO sadece kablosuz şebekedeki RTT değerlerine göre hesaplanır, TCP'nin RTO'su ise kablolu ve kablosuz şebekedeki RTT değerlerinin toplamıdır. 0,000035 BER değerinde normal TCP'de saniyede 10480 oktet transfer edilirken, snoop ile saniyede 44800 oktet transfer mümkündür. Yalnız, burada önemli bir hatırlatma yapmak zorundayım. Böyle bir olayın gerçekleşebilmesi için kablosuz şebekedeki kanal bant genişliğinin böyle bir iyileşmeye müsaade etmesi gerekmektedir. GPRS şebekesinde, tek bir zaman dilimi ile elde edilebilecek maksimum hız hava ara yüzünde saniyede 21400 oktettir. Şekil 4.1 laboratuvar ortamında bant genişliği kısıtlaması olmaksızın snoop protokolünün değişen BER değerlerine karşın performansını göstermektedir. Bundan sonraki sayfada yer alan Şekil 4.1'de değişen BER değerlerine göre snoop protokoldeki bağlantı performansının TCP'ye göre kaç kat fazla olduğu gösterilmektedir. Düşük BER değerlerinde ikisininse performansı aynıdır. Yüksek BER'de ise aradaki fark 4,5 kat fazla olabilir.



Şekil 4.1 Snoop/TCP Performans Oranının BER Değerlerine Göre Değişimi

4.4.3 Yazılım Seviyesinde Çapraz Katman İşaretleşme Yaklaşımı

Bu yaklaşımda gönderici tarafın aktarım katmanını kablosuz şebekenin farkındadır. Bu, bağlantı yada şebeke katmanının, kablosuz şebekedeki olaylar hakkında gönderici tarafın aktarım katmanını bilgilendirilmesi ile başarılı [6]. Bu sayede tıkanıklık kayıpları ile hatadan kaynaklanan kayıpların ayırt edilebilmesi sağlanmış olur. Eğer şebekede ciddi bir tıkanıklık var ise, ayırt edebilme işleminin gerçekleşebilmesi çok zordur. Ara bağlantı noktalarında ve gönderici tarafın aktarım katmanında değişiklik yapılması gereklidir. Bu yaklaşıma örnek bir çok uygulama, protokol ve teknik mevcuttur. Bunlardan bir kaç aşağıda incelenmiştir.

4.4.3.1 Belirgin Tıkanıklık Bilgilendirilmesi(Explicit Congestion Notification : ECN)

ECN tekniği RED(Random Early Detection)'ın geliştirilmiş biçimidir. RED routerlar için geliştirilmiş kuyruk işletimi mekanizmasıdır. RED tıkanıklığı önceden tespit eder ve uç noktaları bilgilendirir. RED işaretlemesi yeni başlamış bir tıkanıklığı gönderilen paketlerin sayısını, alıcı tarafın tampon bölgesinin maksimum kapasitesi dolmadan düşürür. RED mekanizması iki eşik değeri kullanılır max ve min. Sadece kuyruğun ortalama doluluk oranı bu iki değer arasında ise, gönderilen paketlerin sayısı düşürülür. ECN mekanizması RED'in geliştirilmiş şeklidir. Eğer kuyruğun ortalama doluluk oranı bu iki değer arasında ise, gönderilen paketlerin sayısı

düşürülmez fakat bu paketler işaretlenir. Alıcı taraf işaretli bir paket alırsa, gönderici tarafa tıkanıklığın başlayacağına dair bilgi verir(ACK paketlerinin içinde) ve gönderici tarafın tıkanıklık engelleme fazına geçmesini sağlar. ECN mekanizması hem router'larda hem de TCP gönderici tarafta değişiklik yapılmasını gerektirir [7]. Eğer ECN desteği sağlanırsa, ECN mekanizması bu paketler için işletilir. Eğer ECN desteği sağlanamazsa, paket sayısı RED tarafından düşürülür.

4.4.3.2 Belirgin Kötü Durum Bilgilendirilmesi(Explicit Bad State Notification: EBSN)

EBSN işlemi gönderici taraftaki zamanlayıcıyı tıkanıklık penceresinin boyutunu düşürmemek için revize eden bir mekanizmadır. Bir tıkanıklığın olması durumunda yapılan tıkanıklık penceresinin boyutunu düşürme işlemi, kablosuz şebekede yaşanan gecikmeden dolayı işletilmez. Kablosuz şebekede meydana gelen her başarısız aktarımdan sonra gönderici tarafa baz istasyonu tarafından EBSN paketi gönderilir. EBSN paketi önceki RTO değerinin iptal edilmesine ve yeni bir RTO değerinin koyulmasına neden olur. Yeni RTO değeri mevcut RTT değerleri ve standart sapmaya göre hesaplanır. Diğer bir ifadeyle yeni RTO değeri önceki ile aynıdır. EBSN yaklaşımı mevcut RTT değerleri ve standart sapmalarıyla çakışmaz. Amacı gereksiz zaman aşımını engellemektir.

4.4.3.3 Belirgin Kayıp Bilgilendirilmesi (Explicit Loss Notification:ELN)

ELN bilgisi TCP ACK/DUPACK paketlerinin içersine koyulur. Kablosuz şebekede paket kaybı gerçekleşirse, alıcı taraf gönderici tarafa paket kaybının gerçekleştiğini fakat tıkanıklık olmadığını bildirir. Bu bilgilendirme DUPACK mesajı ile yapılır. DUPACK'ın gönderici tarafta alınmasıyla, gönderici tekrar gönderme işlemini tıkanıklık fazına girmeden gerçekleştirir.

4.4.3.4 Çeşitli Paket Alındı Bilgilendirilmesi(Multiple Acknowledgements)

Çeşitli paket alındı bilgilendirilmesi tıkanıklıktan kaynaklanan kayıplar veya kablolu şebekedeki hatalardan kaynaklanan kayıpları, kablosuz şebekedeki kayıplardan ayırt eden bir yöntemdir. Bu yöntem iki çeşit ACK mesajı kullanır.

- ACKp: Bölüm bilgilendirmesidir. Sıra numarası Na ile aktarılır. Gönderici tarafa, Na-1 sıra numarasına kadar olan bütün paketlerin baz istasyonu tarafından alındığını bildirir.

- ACKc: Toplu bilgilendirme. Normal TCP bağlantısındaki bilgilendirme. Atılan tüm paketlere ilişkin toplu halde bilgilendirir.

RTT gönderici ile alıcı(mobil istasyon) arasındaki belirli boyuttaki bir paketin gidip gelme zamanıdır. $Rtt(w)$ ise baz istasyonu ile mobil istasyon arasındaki belirli boyuttaki bir paketin gidip gelme zamanıdır. RTO gönderici tarafın alıcı taraftan(mobil istasyon) bilgilendirme paketini beklediği maksimum zamandır. $RTO(w)$ ise baz istasyonun mobil istasyon'dan bilgilendirme paketini beklediği maksimum zamandır.

Gönderici tarafın Na sıra numaralı ACKp paketini alması, alıcı tarafın Na-1 sıra numarasına kadar olan paketleri aldığı ve baz istasyonunun alıcı tarafa bu paketleri göndermede zorlandığının işaretidir.. Dolayısıyla gönderici RTO zamanlayıcısını revize eder ve bu sayede baz istasyonuna paketleri tekrar göndermesi için zaman vermiş olur. Bu sayede gönderici tarafın gereksiz yere uçtan uca tekrar gönderme, yavaş başlama ve tıkanıklık engelleme fazına girmesi engellenmiş olur. ACKp mesajının alınmasıyla ilgili paketler işaretlenir. RTO eşik değerinin aşılmasından sonra gönderici paketlerin işaretli olup olmadığını kontrol eder. Eğer paketler işaretli ise paketler tekrar gönderilmez ve tıkanıklık engelleme fazına girilmez, aksi takdirde tekrar gönderilir. ACKc mesajının alınması durumunda normal TCP algoritması işletilir.

Baz istasyonu bir paket aldığı anda $RTO(w)$ zamanlayıcısını çalıştırır ve mobil istasyona paketi aktarır. $RTO(w)$ zamanlayıcısı eşik değerine ulaşırsa, baz istasyonu gönderici tarafa bu paketin sıra numarasından bir fazla sıra numarası ile ACKp mesajı yollar. Baz istasyonu bundan sonra snoop protokolünü işletir. Alıcı taraf normal TCP Reno mekanizmasını işletir.

4.4.3.5 Gezicilik İşlemi Uygulamalı TCP Geliştirilmesi

Gezicilik işlemi uygulamalı TCP geliştirilmesi(MAITE: Mobility Awareness Incorporated as TCP Enhancement) yaklaşımı yüksek BER değerlerinde geliştirmeyi, TCP gönderici tarafın bağlantı katman mesajlarını kullanarak yapar . Gezici terminal bağlantı kopukluğuna uzun süre alıcı taraftan bilgilendirme mesajı gelmezse karar verir. Kayıpların yüksek BER'den kaynaklandığına, erişim noktasındaki bağlantı katmanı gezici terminale yüksek BER bilgisi verirse karar verilir. Yüksek BER'e karar verme alıcı tarafa gelen paketlerde yapılan CRC kontrolü ile yapılır.

Özetle, Yüksek BER durumunda sunucunun aktarım katmanı, alıcı tarafın bağlantı katmanı tarafından yüksek BER bilgilendirme mesajı ile bilgilendirilir. Benzer şekilde bağlantı kopukluğu, bağlantı kopukluğu bilgilendirme mesajı ile bildirilir. Alıcı taraf yüksek BER veya bağlantı kopukluğu durumunda herhangi bir zamanlayıcısını durdurmaz fakat herhangi bir ACK mesajı da yollamaz [3]. Yüksek BER durumlarında bağlantı koptu mesajı gönderici tarafa yollanır, gönderici tarafın hareketsiz moda girmesi sağlanır. Bu durumda hiç bir segment yollanmaz. Bu yaklaşım sadece düşük hızlarda iyi performans gösterir.

4.4.4 Donanım Seviyesinde Aktarım Katmanı Yedekleme Yaklaşımı

Bu çözümde uçtan uca bağlantı bütünlüğü korunmaz ve bağlantının iki kısma ayrılması teknikleri uygulanır. Bu çözümün en büyük avantajı kablosuz şebekenin kayıp hasarlarından korunmuş olmasıdır. Bunun yanında uçtan uca bağlantı bütünlüğünü yakalamak için ağır fiyat ödemek durumundadır.

4.4.4.1 Direkt Olmayan TCP(Indirect TCP: I-TCP)

I-TCP mobil terminal ile sabit terminal arasındaki bağlantıyı ikiye böler. Bunlardan birisi mobil terminal ile baz istasyonundaki mobil destek router(MSR) arasındaki bağlantı, diğeri ise MSR ile sabit terminal arasındaki bağlantıdır. Mobil terminale gönderilen bilgi ilk önce MSR tarafından alınır, ACK mesajı MSR'dan sabit terminale yollanır ve daha sonra bilgi paketi mobil terminale yollanır [1]. Bu sayede kablolu ağ'daki TCP/IP kablosuz ağ'ın olumsuz durumlarından ayrılmış olur. Bu yaklaşımın avantajlarını şöyle sıralayabiliriz.

- Bu yaklaşım kablosuz ağ'daki akış ve tıkanıklık kontrolünü kablolu ağ'dakinden ayırır. Bu gerçekten de amaçlanan bir gelişmedir çünkü her iki ağ'ın oldukça farklı özellikleri vardır.
- Kablosuz ağ'daki ayrı aktarım protokolü bağlantı kesintisi, hücre seçimi ve benzeri olayları üst katman protokollere bilgilendirme paketleriyle iletir. Bu sayede gezicilik TCP açısından kontrol altına alınmış olur.
- Bu yaklaşımda MSR gezici terminal'in üzerinde bağlantı kontrolü sağlar. Bu sayede gezici terminal herhangi bir kablosuz ağ protokolünü MSR ile haberleşmek için çalıştırabilir. Harici paket şebekelere MSR ile ulaşıla bilinir.

- Eğer gezici istasyon I-TCP bağlantı sırasında hücre değiştirirse, MSR1(eski)'de I-TCP için bulunan iki soket yapısı MSR2(yeni)'de aynen korunur. MSR2 uç noktalarında mobil terminal ile gezici istasyon için gerekli parametreleri yaratır.

Yeni hücre seçimi sırasında I-TCP, MSR'daki pencere boyutunu küçülterek bağlantı performansını optimize eder. MSR'ın tampon bölgesinin kapasitesi dolduğunda sabit terminale paketleri gönderme işlemini durdurmasını iletir. Aktarımdan sonra yeni MSR daha fazla bilgiyi kabul eder ve bu sayede bağlantı hızı normale döner. Tıkanıklık kontrolü mobil istasyon ile MSR arasında olur. I-TCP yeni hücre seçiminden sonra MSR'daki yeniden gönderme zamanlayıcısını sıfırlar MSR'ın yavaş başlama işlemini başlatmasını engellemiş olur.

Uzak bir sunucu ile I-TCP bağlantısı gerçekleştirebilmek için mobil terminal özel bir I-TCP araması yapmalıdır. Bu arama standart soket sistem aramalarından farklı olmalıdır. Bu nedenle MSR'daki TCP ve mobil IP yazılımında değişiklikler gerekmektedir. IP paketlerini mobil terminaldeki I-TCP portlarına yollayan MSR'daki IP giriş rutininde küçük değişiklikler yapılması gerekmektedir.

Bu yaklaşımla ilgili olarak, performans ve uygulanma açısından şunlar söylenebilir:

- Uçtan uca TCP yapısı bozulmaktadır.
- Mobil terminaldeki mobil uygulamalar I-TCP kütüphanesi kullanılarak tekrar oluşturulmalıdır.
- Baz istasyonunda her iki yönde de iki kat fazla işlem yapılmış olur. Sabit terminalden gelen paketlerin kopyalanması, mobil terminale giden paketlerin kopyalanması.
- Çok fazla hücre seçimi olması durumunda, bağlantı durumu ile ilişkili olan kontrol aktarımının daha fazla zaman almasına ve gecikmenin artmasına neden olur.
- Baz istasyonu yoğun trafik için daha fonksiyonel olmalı ve baz istasyonunun tampon bölge kapasitesi fazla olmalıdır.

4.4.5 Uçtan Uca Aktarım Katmanı Yedekleme Yaklaşımı

Bu yaklaşımda problemin çözümü, uçtan uca bağlantı bütünlüğü korunarak gerçekleştirilir. Bu yaklaşımın avantajı baz istasyonunda herhangi bir değişikliğin ve

ek bir elamanın olmamasıdır. Fakat gönderici tarafın aktarım katmanı revize edilmelidir. Bu yaklaşıma örnek teknikler devam eden konularda verilmiştir.

4.4.5.1 Donuk TCP(Freeze TCP: F-TCP)

Bir çok teknikte TCP optimizasyonu için ek bir arabirime ihtiyaç duyulmaktadır. Bu arabirim kablosuz şebekedeki akış kontrolünü sağlar. Fakat uçtan uca bağlantı bütünlüğü bozulmuş olur.

F-TCP uçtan uca bağlantı mekanizmasıdır. İlave bir arabirime, gönderici taraf TCP yazılımında ve router'larda herhangi bir yazılım değişikliğine ihtiyaç duymaz. Değişiklik sadece mobil terminal tarafında yapılır. F-TCP bir tıkanıklık engelleme işlemidir. Fakat bu işlem mobil terminal kontrolünde yürütülür, gönderici taraf TCP herhangi bir gereksiz tıkanıklık engelleme işlemini başlatmaz. F-TCP tekniğinde, mobil terminal kablosuz ağ'daki hücre aktarımı, frekans çakışmasından kaynaklanan problem ve diğer olumsuz durumlarda gönderici tarafa, sıfır pencere bildirimi(Zero Window Advertisement: ZWA) yaparak gönderici tarafın gereksiz tıkanıklık engelleme fazına girmesini engeller.

ZWA paketini alan gönderici taraf bütün zamanlayıcılarını dondurur. Ve bundan sonra periyodik olarak ZWP(Zero Window Probes) paketini alıcı tarafa gönderir. Alıcı tarafın sıfır pencere durumundan çıkmasıyla ZWP paketi gönderilmez. Bağlantı tekrar kurulduğunda alıcı taraf en son aldığı segmentte ilişkin 3 tane ACK mesajı gönderir. F-TCP sadece bağlantı sırasında kopukluk yada gecikme olduğu durumlarda kullanışlıdır [2].

4.4.5.2 WTCP

WTCP uçtan uca bağlantı bütünlüğünü koruyan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım genelde TCP algoritmasının bütün paket kayıplarını tıkanıklıktan dolayı varsaydığı WWAN(Wireless Wide Area Network)'larda uygulanır. Bu yaklaşım rasgele meydana gelen kayıpları, tıkanıklık nedeniyle meydana gelen kayıplardan, paketin gönderiliş zamanı ile varış zamanı arasında ilişki kurarak ayırt etmeyi hedefler. WTCP daha çok hıza dayanan bir yaklaşımdır. Pencere büyüklüğüne dayanan bir yaklaşım değildir. WTCP kendi bilgi trafiğini kontrol eder, yoğun paket aktarımına izin vermez ve değişik RTT değerlerine de iyi reaksiyon verir. WWAN CDPD (Cellular Digital Packet Data)'i ve Reed-Salomon hata düzeltme yazılımını kullanır.

Buna rağmen gezicilikten dolayı hata oranı yaklaşık %10 civarındadır. Tek bir CDPD kanalı saniyede 19200 oktet akışına izin verir ve RTT değeri 800 milisaniye ile 4 saniye arasında değişir.

RTT değerinin bu kadar değişken değerlere sahip olması kablosuz şebekeden kaynaklanmaktadır. CDPD üzerinde çalışan TCP, RTO değeri olarak 32 saniye gibi büyük değerleri seçer. Bunun nedeni RTT değerlerinin çok büyük olmasıdır. WTCP temelindeki asıl gerçek TCP'nin kablosuz şebekede sıkça rastlanan kayıplardan dolayı hızını yarıya düşürmemesidir. Bu algorithmada alıcı taraf paketlerin alınmasından sorumludur. Gönderici taraf hangi paketin tekrar gönderilmesi kararını vermez çünkü bazı ACK paketleri başarısız olurlar fakat bunlar alıcı tarafı paketlerin tekrar göndermesi için tetiklerler. Tıkanıklık kontrolünde anahtar nokta, WTCP nin şebeke içi paket alıp/gönderme gecikmesini metrik olarak kullanması ve buna göre hız adaptasyon hesaplamasını yapmasıdır. Paket kaybına neden olan faktör tespit edilir ve buna göre işlem yürütülür.

Şebeke içinde, alıcı taraftaki paket gecikmesinin takibi düşük dar bant kanal hızlarının tespiti açısından çok önemlidir. Şebekedeki kayıplar, paket gecikmesi ortalama sapma değerinden küçük ise rasgele kayıplar, aksi takdirde tıkanıklıktan dolayı gerçekleşen kayıplar olarak yorumlanır. Alıcı taraf kontrol ve hız ölçümü yapar ve bu sonuçları ACK paketleriyle gönderici tarafa gönderir. Bu sonuçlara göre gönderici taraf hız ayarlaması yapar. ACK paketinin gönderilmesindeki gecikme hesaplanmaz. WTCP daha önceki kayıpların bilgisini tutar ve hız ayarlanmasını daha kısa zamanda yapar.

4.4.5.3 TCP Santa Cruz

Bu yaklaşım WTCP'ye benzemektedir. RTT değeri, yeniden gönderme zamanlayıcısının eşik değeri için bir metrik değildir. Gönderici taraf, tekrar gönderme için şebeke içi mesaj gecikmesine ve belirgin bilgilendirme paketlerine(Selective Acknowledgement) bağımlıdır. TCP Santa Cruz(TCP-SC), alıcı taraf kuyruğunu takip eder ve bu sayede tıkanıklığın büyüyüp büyümediğini, kayıpların tıkanıklıktan dolayı mı yoksa rasgele mi olduğuna karar verir. Şebekede sadece tıkanıklığın olduğu değil aynı zamanda tıkanıklığın yönü de belirtilir. Tıkanıklık, bir paketin gecikmesinin diğer paketlerin gecikmesiyle olan ilişkisine göre belirlenir. Tıkanıklıktan kaynaklanan paket kayıplarının alıcı taraf kuyruğundaki

artış nedeniyle gerçekleştiği tespit edilmiştir. Rasgele kayıpların alıcı kuyruğunun durumu ile ilişkisi yoktur. Bu kayıplar, kablolu ağ'dan kaynaklanan kayıplardır. TCP-SC alıcı tarafın kuyruğundaki değişiklikleri bir paketin gönderilip alınma zamanı ortalama değeri boyunca izler. Kayıp olduğu tespit edilince bu protokolden beklenen, tıkanıklık pencere boyutunu değiştirmeden paketleri tekrar göndermesidir. Bu işlem, normal TCP'de opsiyonel olarak eklenecek fazladan 40 oktet başlık bilgisiyle gerçekleştirilir.

4.4.5.4 WWP(Wave and Wait Protocol)

Bu protokol düşük bant genişliği, hataya yatkın durumlar ve kararlı olmayan karakteristeki ağ'lar için uygundur. Bu protokolden üstünde durulması gereken anahtar nokta, düşük hızlarda bile tekrar gönderme için pil gücü enerjisinin korunmasıdır. Gönderici taraf tıkanıklık penceresi boyutunu izin verilen sınıra kadar artırır. Bu değeri aştıktan sonra aşağı yönde hız ayarlanması için zorlanır. WWP alışa gelmiş TCP algoritmasının tersine alıcı taraf kontrolüne dayanan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda alıcı taraf tıkanıklığı tespit eder ve tıkanıklık penceresinin büyüklüğünü ayarlar.

Bağlantı altı farklı el sıkışma yöntemi ile sağlanır ki bu sayede şebekedeki mevcut tıkanıklık ölçülmüş olur. Gönderici taraf ilk bilgi dalga segment topluluğunu alıcı tarafa yollar. Alıcı taraf paketleri alır, şebekedeki tıkanıklık seviyesini ve gönderici taraf için yeni dalga seviyesini belirler. Yeni dalga seviyesi alıcı tarafından belirlenen tıkanıklık seviyesine göre karar verilir. Kayıp segment tespiti yapıldıktan sonra, alıcı taraf negatif ACK paketi yollar ve bu sayede kayıp olan segmentlerin alıcı tarafından alınmadığını işaret etmiş olur. Gönderici taraf kayıp paketleri ve göndereceği diğer paketleri tıkanıklık penceresi limitini aşmadan gönderir. Eğer alıcı taraf tıkanıklık olduğunu tespit ederse, sıfır dalga seviyesi paketi yollar ve gönderici tarafın paket yollamamasını sağlar. Diğer yaklaşımlarda olduğu gibi bu protokolden sadece kablolu ağ'larda iyi performans gösterir. Kablolu ağ'lardaki TCP bağlantısı için uygun değildir. Bu protokol, router'larda herhangi bir revizye ihtiyaç duymaz.

4.4.5.5 M-TCP

M-TCP protokolü sık bağlantı kopukluklarının ve düşük bit hızlarının olduğu ağ'larda iyi performans gösterir. Uçtan uca bağlantı bütünlüğü korunur. M-TCP'de bağlantı ikiye bölünür. Bunlardan birincisi sabit terminal ile denetleyici

terminal(Supervisory Host: SH), diğeri ise SH ile mobil terminal arasındadır. SH ile mobil terminal arasındaki bağlantı TCP protokolünün revize edilmiş halidir. Sabit terminal segment'i SH'a yollar. SH bu paketleri M-TCP protokolünü kullanarak mobil terminale yollar. Alıcı taraf paketleri aldıktan sonra ACK paketlerini SH'a yollar. SACK paketlerini sabit terminale aktarır. Diğer ikiye bölme yaklaşımlarının tersine, en son gönderdiği segment'in bilgilendirme paketini saklar. Mobil terminalin bağlantısını kesmesi durumunda, SH bundan sonra ACK paketlerini alamamaya başlar, bu sayede mobil terminalin geçici olarak bağlantısının kesildiğine karar verir ve en son sakladığı ACK paketini sabit terminale yollar. Bu ACK paketinde sıfır pencere büyüklüğü bilgisi vardır. Bu ACK paketini alan gönderici taraf bütün zamanlayıcılarını dondurur. Alıcı taraftan sıfır pencere büyüklüğü mesajından farklı bir bilgi alınana dek bu durum korunur. Böyle bir mesaj alınınca, SH uygun bir pencere büyüklüğünü gönderici tarafa bildirir. Dondurulmuş olan tüm zamanlayıcılar tekrar işleme alınır. Dolayısıyla gönderici taraf tam hızda bağlantısına devam eder.

4.4.5.6 TCP Seçimsel Bildirimi(TCP Selevtive Acknowledgement: TCP SACK)

Bu yaklaşım, TCP'nin uygulanabilir bir opsiyonudur. Geleneksel TCP işletiminde, tıkanıklık penceresinin izin verdiği sayıda gönderilen segmentlerin alındı bildirimi toplu olarak yapılır. Bu da TCP'nin, gereksiz yere, alıcı tarafın almış olduğu paketleri tekrar göndermesine neden olur. Toplu halde yapılan paket alındı bildirimi, bir paketin kaybolduğu durumlarda TCP'nin ACK paketi alma saatini karıştırır. Bu olay hızın düşmesine neden olur. TCP-SACK'da alıcı taraf alınan tüm paketlerin bilgisini yollar. Gönderici taraf sadece, kaybolan paketleri tekrar gönderir.

4.4.5.7 TCP Westwood

Bu yaklaşımın temelinde, kablosuz şebekede aktarım katmanı için bant genişliği tespiti yatmaktadır. Gönderici taraf'ta tıkanıklık penceresi işletim algoritması ve TCP-Reno algoritmasında revizeye ihtiyaç duyar. Tıkanıklık penceresi büyüklüğü ve yavaş başlama eşik değerini belirlemek için bant genişliği tespitini esas alan bir yaklaşımdır. TCP Reno'da 3 adet DUPACK paketi veya zaman aşımı meydana geldiğinde tıkanıklık penceresinin büyüklüğü, en son büyüklüğünün yarısına düşürülür. Bunun tersine TCP-Westwood tıkanıklık penceresi büyüklüğünü ve yavaş başlama eşik değerini, zaman bant genişliğini tespit etmek için referans aldığı paketlerin aktarım gecikmesi veri tabanına göre yapar. Gönderici taraf uçtan uca

bağlantı sırasında bant genişliğini, aldığı ACK paketlerinin geri dönme zamanına göre hesaplar. Paket kaybı sezilirse tıkanıklık penceresi ve yavaş başlama eşik değeri belirlenmesi TCP-Reno algoritmasına göre değil, bant genişliğine göre yapılır [3]. Bu yaklaşımın avantajları olarak herhangi bir arabirime ihtiyaç duyulmaması ve uçtan uca bağlantı bütünlüğünün sağlanmış olması söylenebilir.

4.4.5.8 Hızlı Düzeltme Yaklaşımı(Fast Retransmit Approach: FRTA)

FRTA yaklaşımı bağlantı sırasında meydana gelen hücre seçimlerinde iyi performans göstermektedir. TCP gönderici, yeni hücreye geçiş sırasında meydana gelen gecikmenin tıkanıklıktan dolayı olduğunu varsayar. Zaman aşımı meydana gelince, tıkanıklık penceresi düşürülür ve paketler tekrar gönderilir. Bazen yeni hücreye geçiş çok hızlı olur, dolayısıyla mobil terminal zaman aşımına kadar paketlerin tekrar gönderilmesi için beklemek zorunda kalır. FRTA problemi, mobil terminalin hücre seçimi sırasında, belirli bir eşik değerini gönderici tarafa DUPACK mesajı göndermesini sağlayarak hafifletir. Bu olay, gönderici tarafın tıkanıklık penceresini düşürmesine ve paketlerin kayıp olandan(DUPACK mesajında bildirilen) başlayarak tekrar gönderilmesine neden olur. Bu yaklaşım sadece hücre seçimi sırasında performansı arttıran bir yaklaşımdır.

4.4.5.9 Eifel Algoritması

Bu algoritmanın amacı, sahte zaman aşımı ve sahte hızlı düzeltmeden kaynaklanan tekrar gönderme belirsizliğini engellemektir. Tekrar gönderme belirsizliği problemi, TCP'nin alınan ACK paketlerinin asıl gönderilen pakete mi yoksa tekrar gönderilen pakete mi ait olduğunu ayırt edememesinden kaynaklanır. Sahte zaman aşımı gönderici tarafın yeteri kadar uzun beklememesinden kaynaklanır. Sahte hızlı düzeltme 3 adet DUPACK paketinin alınmasından sonra paketlerin tekrar sıraya konmasından kaynaklanan hızlı düzeltmedir.

Araştırmalar göstermiştir ki, bağlantı sırasında meydana gelen zaman aşımı ve hızlı düzeltmelerin çoğu sahtedir. Diğer bir ifadeyle, zaman aşımından veya hızlı düzeltmeden sonra alınan ACK paketleri orijinal pakete aittir, daha sonradan tekrar gönderilene ait değildir. Sahte zaman aşımı TCP performansını iki şekilde etkiler;

- TCP gönderici taraf gereksiz yere yükünü düşürür.
- Gereksiz yere tekrar gönderme işlemi başlatılır.

IP protokolü bağlantısız yönelimli bir protokoldür. Paketlerin dağıtım garantisi yoktur. Paketler tekrar sıraya konulurken geçen zaman 3 DUPACK eşik değerinden fazla olmaktadır. Bu da gönderici taraf'ta sahte hızlı düzeltme algoritmasının başlamasına neden olmaktadır. Eifel algoritması yeniden gönderme belirsizliğini engeller, yükü korur ve bağlantıya gönderilmeyen paketi göndererek devam eder. Yeniden gönderme belirsizliği TCP'nin zaman işaretleme opsiyonu kullanılarak çözülür. Gönderici tarafından gönderilen her paketin gönderme zamanı saklanır. Bunun yanında tıkanıklık penceresi ve yavaş başlama eşik değeri de saklanır. Alıcı taraf gönderilen segment'e ilişkin ACK paketinin zaman noktası değerini gönderici tarafa gönderir. Zaman aşımı yada hızlı düzeltme meydana geldikten sonra paketler tekrar gönderilir. Gönderici taraf aldığı ACK paketinin zaman noktası değerine göre, orijinal segment mi yoksa tekrar gönderilen segment mi ait olduğunu tespit eder. Eğer alınan ACK orijinal pakete ait ise tıkanıklık penceresi ve yavaş başlama eşik değeri korunur. Dolayısıyla yük gereksiz yere azaltılmamış olur. Bu yaklaşım kablolu ve kablosuz ağ'lar için elverişlidir fakat uç noktalarda aktarım katmanı seviyesinde revize yapılması şarttır [4].

4.5 Optimizasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması

TCP'nin kablosuz şebekedeki performansını arttırmak için uygulanacak tekniklerde ideal çözümün karakteristikleri aşağıda verilmiştir:

- Uyumluluk :Uygulanacak teknik mevcut TCP algoritmasına uyumlu olmalıdır.
- Şifreleme:Şebeke güvenliğinin gereği olarak şifreleme uygulanmaktadır, öyle ki tüm IP yükü şifrelenmektedir. Arabirim, kullanılan aktarım katmanı protokolünü bilmeyebilir. Dolayısıyla, arabirim entegrasyonu ile birlikte çözüm sunan teknikler başarısız olur.
- Uçtan uca bağlantı bütünlüğü: Uçtan uca bağlantı bütünlüğünü, herhangi bir arabirim kullanarak gerçekleştiren teknikler de doğru olarak sağlamalıdır.
- Arabirimlerin Rolü: Eğer teknikte bir arabirim kullanılıyorsa, bu arabirim % 100 efektif çalışmalıdır. Bu arabirimlerdeki işlem zamanı geleneksel TCP algoritmasını engellememelidir.
- Yazılımda değişiklik: Gönderici taraf TCP yazılımında herhangi bir değişiklik yapılmamalıdır.

- Yüksek BER: Teknik yüksek BER değerlerine karşı dayanıklı olmalıdır.
- Uzun Duraksamalar: Teknik uzun duraksamalara karşı dayanıklı olmalıdır.
- Sık Bağlantı Kopuklukları: Teknik sık bağlantı kopmalarına karşı dayanıklı olmalıdır.

Bu bilgiler ışığı altında yukarıda verilen tekniklerin, ideal çözüm karakteristiklerine göre karşılaştırıldığı tablo aşağıdadır..

Tablo 4.1 Performans Geliştirici Tekniklerin Karşılaştırılması

	I-TCP	M-TCP	WTCP	TCP REAL	TCP-F	Freeze TCP	SNOOP	MAITE	Santa Cruz	ELCN ECN EBSN	TCP Westwood	Mult. Ack.
Şifrelemeyi Destekliyor	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Ara nokta elemanına ihtiyaç duyuyor	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Uç'dan Uca bağlantı esası	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet	Evet
Uzun duraksamara karşı durabiliyor	Tampon olmadan çalışabilir	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Sık duraksamalara karşı durabiliyor	Hücre seçiminde zor	Hücre Aktarım ında zor	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet
Yüksek BER'e karşı durabiliyor	Evet	Evet	Evet	Evet	Trafik yüksel ebilir	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Evet
Yazılımda değişiklik var	Alıcı ve BS	BS	Alıcı, Gön	Alıcı, Gön	Alıcı	Alıcı	BS	Alıcı, Gön	Alıcı, Gön	Alıcı, Gön,Ara noktalar	Gön	Gön

Buraya kadar anlatılan kısımda, TCP'nin tıkanıklık kontrolü algoritmasının detaylı analizi yapılmış oldu. TCP'nin kablosuz ağlardaki performansını etkileyen parametrelerin neler olduğu açıklandı. Ve daha sonra TCP'nin performansını kablosuz ağ'larda geliştirmek için uygulanabilecek teknikler detaylı olarak incelendi. Bahsedilen tekniklerin, kendilerine göre ayrı ayrı avantajları ve dezavantajları vardır. Uçtan uca bağlantı bütünlüğünü esas alan ve bağlantı katmanı seviyesinde geliştirmeyi hedefleyen tekniklerin birlikte uygulanması TCP performansını

geliştirmek için en optimum özumdür. Bundan sonra yapılacak araştırma amacı TCP'nin mevcut algoritmasına ters düşmeyen GPRS ve TCP şebekesinde parametre optimizasyonu ile TCP performansını GPRS üzerinde arttırma tekniğini bulmaktır.



5. TCP/IP PERFORMANSININ GPRS ÜZERİNDE ANALİZİ ve PARAMETRE OPTİMİZASYONU

Bu bölümde GPRS üzerinde TCP performansının artırılması için parametre optimizasyonu hakkında görüş ve teklifler yer almaktadır. Bu teklifler, gerçek GPRS şebekesi üzerinde yapılan testler ve bu testlerin sonuçlarına dayanmaktadır.

5.1 TCP/IP Performansının GPRS Üzerinde Analizi

TCP/IP ticari amaçlı kurulmuş, kablolu ağlar ve sabit terminaller için geliştirilmiş bir protokoldür. TCP bu tip kablolu ağlarda meydana gelen uçtan uca gecikme ve paket kayıplarına karşın iyi performans göstermektedir. GPRS ağ'nın, sınırlı bant genişliği, yüksek bit hata oranı(BER), uzun süreli ani duraksamalar gibi kablolu ağlardan oldukça farklı özellikleri, TCP ve yukarı katman protokollerinin performansını etkilemektedir.

5.1.1 Şebekenin Boyutlandırılması ve Genel Anlamda TCP Optimizasyonu

IP protokolü ve üstündeki diğer protokoller(TCP, UDP, ...vs) GPRS'i, hedef'e ulaşırken tek bir atlama noktası gibi görmektedirler. Bu durum kablosuz şebeke yapısının aktarıma girmesi nedeniyle protokolün, yüksek gecikme değişkenliği, sınırlı bant genişliği ve güvenilir olmayan aktarım gibi TCP/IP performansını etkileyen olaylarla ilgilenmesine neden olur. GPRS ağ yapısına uygun TCP parametre optimizasyonu TCP performansını arttırabilir. Optimizasyonun hangi parametre değerleri üzerinde yapılacağı anlatılacaktır. Bununla birlikte TCP performansını kablosuz şebekelerde arttırma tekniklerini incelerken şu konular üzerine durulmuştur.

- TCP uç noktada işleyen aktarım katmanı protokolüdür. Optimizasyon tekniklerinde mobil istasyon tarafında değişiklik yapılması mantıklı iken, TCP sunucu tarafında protokol işleyişini değiştiren bir değişiklik mantıklı değildir.

- TCP parametrelerinde yapılan değişiklikler sadece kablosuz şebekedeki servis alan mobil istasyonda etkili olmalıdır. TCP parametre optimizasyonu kablolu ağ performansını etkilememelidir.

GPRS üzerinden kurulan bir TCP bağlantısının performansını optimum hale getirmek için performans geliştirici bir sunucu entegrasyonu yapılabilir. Bu sunucu uygulama katmanında koşan bir bilgisayar yada aktarım katmanında bir yazılım olabilir. Buradaki asıl nokta TCP sunucu ile mobil istasyon arasındaki bağlantının iki kısma bölünmesidir. Bunlar;

- GPRS şebekesine entegre edilen performans geliştirici sunucu ile TCP sunucu arasındaki bağlantı. Bu bağlantıda standart TCP parametresi ve protokolü kullanılır.
- GPRS şebekesine entegre edilen performans geliştirici sunucu ile GPRS mobil istasyon arasındaki bağlantı. Bu bağlantıda TCP parametreleri veya TCP protokolü optimum hale getirilir.

Kablosuz ağ'larda TCP/IP performansını arttırmak için geliştirilen tekniklerin, GPRS üzerindeki TCP/IP performansını çok büyük ölçüde arttırmadığı tespit edilmiştir. 4. bölümde de belirtildiği gibi bu teknikler, efektif bir çözüm için beraber uygulanmalıdır. GPRS'de bu tekniklerin uygulanması ile ilgili elde edilen sonuçlar şunlardır. Uygulama sonuçları;

- Zaman işaretleme tekniğinin uygulanmasının GPRS hızını düşürdüğü tespit edilmiştir. TCP Reno ile zaman noktalama tekniği hızı % 3,85 oranında düşürür. TCP Reno, zaman noktalama ve TCP SACK teknikleri birlikte uygulandığında ise hızın % 6,88 oranında düştüğü tespit edilmiştir.
- Sadece TCP SACK tekniğinin uygulanması, hız % 9,09 oranında arttırmıştır. Yalnız başına(TCP Reno olmaksızın) zaman işaretleme tekniği hızı sadece % 1,58 oranında arttırmıştır.
- TCP SACK'ın en büyük avantajı yeniden gönderme söz konusu olduğunda ortaya çıkmaktadır. Yeniden gönderme için harcadığı zaman, TCP-Reno'ya göre düşüktür.

GPRS kanalları değişken gecikmelere sahiptir. Bu değişkenlik RTT değerlerinin çok değişken olmasına, dolayısıyla değişken RTO değerlerine neden olur. Değişken

RTO değerleri, gönderici tarafın gereksiz yere tetiklenip, gönderilen paketleri tekrar göndermesine neden olur. TCP-Reno algoritması şu an için uygulanan bir tekniktir. TCP SACK'ın en büyük avantajı, bu gereksiz yere tetiklenme sonrasında sadece gerekli paketin gönderilmesini sağlaması ve TCP-Reno'ya göre zaman kazanmasıdır. RTO değerlerinin çok değişken olması zaman işaretleme tekniğinin de beklenen performansı gösterememesine neden olur.

Buraya kadar yapılan çalışmalarda, şu ana kadar geliştirilen tekniklerin TCP/IP performansını GPRS üzerinde arttırmadığı sonucuna ulaştık. GPRS üzerinde TCP/IP performansını arttırmak için gerekli olan teknik ve yaklaşımı araştırırken, GPRS'de hızı etkileyen faktörlerin detaylı olarak incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. GPRS'de hız analizi yapılarak optizasyon yapılması gereken parametrelerin bulunması hedeflenmektedir.

5.2 GPRS'de Hız Analizi

GPRS'de hız kavramı birim zamanda transfer edilen IP datagramlarının bit cinsinden değeri olarak ifade edilecektir. Üzerinde durulması gereken nokta, GPRS'in belirli boyuttaki bir bilgiyi saniyede ortalama kaç bit göndererek transfer ettiğidir. IP paketlerinin büyüklüğü onları yaratan uygulamaya göre değişmektedir. Fakat bu büyüklük, MTU(maksimum transfer unit) denilen bir parametre ile sınırlanmıştır. Yoğun bilgi transferleri sırasında MTU en fazla 1500 oktet olabilir. Bu nedenle bu parametrenin performansa etkisi araştırılırken bu kısıtlama göz önüne alınarak yapılacaktır. Hız açısından en önemli diğer faktör transfer zamanıdır. GPRS'deki transfer zamanının performansa etkisini incelemek için GPRS'de teorik hızın nasıl hesaplandığı araştırılmalıdır.

5.2.1 GPRS'de Teorik Hızlar

Teorik maksimum hızların bulunması için transfer sırasında geçen sürenin tespit edilmesi gerekmektedir. Daha önceki konularda verildiği gibi, bu süre aşağıdaki formülle bulunur [12].

$$\text{Aktarım zamanı} = T_{PC1} + T_{MS} + T_{MS} + T_{MS-PCU} + T_{PCU} + T_{PCU-SGSN} + T_{SGSN} + T_{SGSN-CH} + T_{CH} + T_{CH-GGSN} + T_{GGSN} + T_{GGSN-CH} + T_{CH} + T_{CH-PC2} \quad (6.1)$$

Daha önceden bahsedildiği gibi GPRS’de Kodlama Düzeni-4, saniyede 21400 oktet bilginin hava ara yüzünden aktarımına izin verir. Bilgiler, RLC/MAC radyo bloğu denen paketler halinde iletilirler. Saniyedeki 21400 oktet bilgi transferi kastedilen toplam hızdır. Bu değerin içinde RLC/MAC, SNDCP, LLC protokollerinin başlık bilgileri de mevcuttur. Diğer bir ifade ile 21400 oktet içersindeki kullanıcıya ait bilgi 19870 oktet’dir. GPRS’deki hız tanımında, bir LLC çerçevesinin saniyedeki bit cinsinden transferi ifadesi kullanılır. Dolayısıyla IP protokol katmanındaki hız tanımı ile GPRS hava ara yüzünde kullanılan hız tanımlamaları farklıdır.

Her bir RLC/MAC bloğunda, kullanılan kodlama düzenine göre değişen bilgi alanları vardır. Bunlar 20 oktet(Kodlama Düzeni-1) , 30 oktet(Kodlama Düzeni-2), 36 oktet(Kodlama Düzeni-3), 50 oktet(Kodlama Düzeni-4)’dir [12]. Kodlama düzenlerinde değişik büyüklükte bilgi alanlarının olmasının nedeni, havadaki hata bit oranına göre GPRS hata akış kontrolünün ayarlanabilmesidir. Diğer bir ifadeyle GPRS, daha önceki kablosuz şebekelerden farklı olarak kablosuz ağ’da paket kaybı ve hata oranını engellemek için değişik kodlama düzenleri kullanmaktadır.

Bu bilgiler ışığı altında her bir kodlama düzenine göre elde edilen maksimum teorik hızlar aşağıdaki tablodadır.

Tablo 5.1 GPRS’de Teorik Hızlar

	Kod. Düz-1	Kod. Düz-2	Kod. Düz-3	Kod. Düz-4
IP Teorik Maksimum Hız Kanal başına(Oktet)	7950	11920	14310	19870
Hava arayüzü Teorik Maksimum Hız Kanal başına(Oktet)	9050	13400	15600	21400

GPRS’de teorik net hız bulunurken aşağıdaki seri formüllerden yararlanılır.

$$\text{RLC/MAC Blok Sayısı} = (\text{Toplam LLC büyüklüğü}) / (\text{RLC/MAC büyüklüğü}) \quad (6.2)$$

$$\text{Transit Zamanı} = \text{RLC/MAC Bloklarının sayısı} * \text{Aktarım zamanı(milisaniye)} \quad (6.3)$$

$$\text{Maksimum Hız} = \text{IP Bilgi Büyüklüğü} / \text{Transit Zamanı.} \quad (6.4)$$

Formüllerden çıkan sonuç GPRS’ deki maksimum hızı etkileyen parametrenin RLC/MAC bloklarının sayısı olmasıdır. RLC/MAC bloklarının sayısını etkileyen iki parametre vardır. Bunlardan birincisi, toplam LLC büyüklüğüdür. Toplam LLC büyüklüğü ve kaç tane LLC çerçevesinin olacağı daha önceden bahsedilen MTU büyüklüğüne göre değişir. Bir IP paketinin boyutunun maksimum kaç oktet olabileceği, kaç tane SNDCP çerçevesinin olması gerekliliğini ve dolayısıyla kaç tane LLC çerçevesinin olması gerektiğini etkilemektedir. Dolayısıyla MTU büyüklüğünün GPRS’deki hızla direkt olarak ilişkisi olduğu ortaya çıkarılmıştır. İkinci parametre ise RLC/MAC büyüklüğüdür.

RLC/MAC büyüklüğü kodlama düzenine göre değişmektedir. Hangi kodlama düzeninde bilgi transferi yapılacağı, havadaki C/I(Carrier to interference ratio) değerine göre değişmektedir. Dolayısıyla, operatörün şebekesindeki C/I dağılımı GPRS’deki hızı etkileyen diğer bir faktördür.

Buradan çıkarılan sonuç, GPRS’deki ortalama net hızı etkileyen en önemli faktörlerden birincisi aktarım zamanı, ikincisi MTU büyüklüğü ve üçüncüsü ise C/I dağılımıdır. Aktarım zamanı detaylı olarak incelendiğinde GPRS’deki gecikmeyi neden olan faktörlerin hızı direkt olarak etkilediği söylenebilir.

5.3 GPRS için TCP Parametre Optimizasyonu

Bu kısımda TCP protokolünün GPRS üzerindeki performansını arttırmak için detaylı olarak incelenmesi gereken parametreler hakkında bilgi verilecektir. Alıcı taraf pencere büyüklüğü(receiver window size), aktarım zamanı, tekrar gönderme zamanlayıcısının eşik değeri ve IP MTU büyüklüğü incelenecek olan parametrelerdir. İdeal koşullarda bu parametrelerin değerleri teorik olarak hesaplanacaktır. İdeal koşullardan kasıt, bant genişliği olarak mobil istasyonun kullanacağı zaman aralığı(timeslot) sayısı, kötü radyo koşulları nedeniyle ortaya çıkan kayıpların hesaba katılmayacağıdır.

5.3.1 Alıcı Taraf Tıkanıklık Pencere Büyüklüğü

Bir TCP bağlantısında tüm bant genişliğini kullanabilmek için alıcı taraftaki tıkanıklık pencere büyüklüğü şu şartla sağlanır;

$$W > RTT * Bw \quad (6.5)$$

$$W: \text{Alıcı Taraf Tıkanıklık Pencere Büyüklüğü} \quad (6.5a)$$

$$RTT: \text{Round Trip time} \quad (6.5b)$$

$$Bw: \text{Bant genişliği (Mobil istasyona tahsis edilen bant genişliği.)} \quad (6.5c)$$

$$Bw = (\text{Aşağı yönde transfer için tahsis edilen zaman dilimi sayısı}) * \text{Bilgi (bir zaman diliminde saniyede aktarılan oktet)} \quad (6.6)$$

Bu eşitlikten çıkan sonuç, GPRS bağlantısında olması gereken pencere büyüklüğünün kullanılan zaman dilimi sayısı ile direkt olarak ilişkili olduğudur. Baz istasyonunda, GPRS için elverişli zaman dilimi sayısı ve mobil terminalin aynı anda desteklediği zaman dilimi sayısı pencere büyüklüğünü etkiler. Büyük pencere değerleri birden fazla zaman dilimi kullanılmasıyla mümkündür. Yapılan hesaplamalara göre, efektif bir GPRS bağlantısı için en azından 4 zaman dilimi kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bundan sonraki konuda yapılan testler sonucunda, zaman dilimi sayısına göre pencere büyüklüğünün nasıl değiştiği verilecektir.

5.3.2 GPRS'de Aktarım Zamanı

Daha önceki konularda GPRS'de tek bir zaman dilimi bant genişliğindeki RTT değeri, 32 oktet büyüklüğündeki bilgi aktarımı için teorik ve pratik olarak verilmişti. Burada, değişen büyüklükte bilgilerin değişen bant genişliğinde aktarılması için gereken zamanın nasıl hesaplanacağı verilmektedir. Aktarım zamanı aşağı (DL) ve yukarı (UL) yönde ayrı ayrı hesaplanabilir. Bunun için gerekli formüller şunlardır;

$$DLT_1(D) = 1590 + D / B_{wDL} \text{ (msan)} \quad (6.7)$$

$$DLT_1(D) = \text{Aşağı Yöndeki Aktarım Zamanı} \quad (6.7a)$$

$$D: \text{IP Paketinin Büyüklüğü} \quad (6.7b)$$

$$B_{wDL}: \text{Aşağı yönde kullanılan bant genişliği} \quad (6.7c)$$

$$ULT_1(D) = 722 + U / B_{wUL} \quad (6.8)$$

$$ULT_1(D) = \text{Yukarı Yöndeki Aktarım Zamanı} \quad (6.8a)$$

$$U: \text{IP paketinin büyüklüğü} \quad (6.8b)$$

$$B_{wUL}: \text{Aşağı yönde kullanılan band genişliği} \quad (6.8b)$$

$$RTT = DLT_1 + ULT_1 \quad (6.9)$$

GPRS oturumu sırasında şebekedeki çerçeve büyüklüğü formülü aşağıdadır;

$$W = BW_{DL} \cdot RTT. \quad (6.10)$$

Yalnız şu ana kadar yapılan hesaplamalarda sadece GPRS şebekesinin RTT değerinden bahsedildi. Harici paket şebekesindeki RTT zamanını da düşünmemiz gerekir. Ortalama olarak harici paket şebekesindeki RTT değeri 0,5 saniye olarak kabul edilebilir. Bu durumda gerçek GPRS çerçeve büyüklüğü;

$$W_{GPRS} = W + 0,5 \cdot BW_{DL} \quad (6.11)$$

Tablo 5.2’de, kodlama düzenleri 1 ve 2(KD 1 ve 2) kullanılarak bulunan, farklı sayıdaki zaman aralığı(timeslot:TS) için RTT değerleri ve çerçeve büyüklükleri vardır. Bu testlerde 15000 oktet boyutundaki bilgi aktarımı gerçekleştirilmiştir. Kullanılan MTU büyüklüğü 1500 oktetdir. Farklı sayıdaki zaman dilimi(Timeslot: TS) sayısı ve kodlama düzenine (KD) göre pencere büyüklükleri gösterilmektedir.

Tablo 5.2 GPRS’de Tıkanıklık Pencere Büyüklüğü

BW _{DL}	BW _{UL}	DLT ₁ (msan)	ULT ₁ (msan)	RTT(msan)	W (oktet)	W _{GPRS} (oktet)
1 TS, KD1	1 TS, KD1	3329	768	4098	4369	6000
1 TS, KD2	1 TS, KD1	2715	768	3483	5936	7500
2 TS, KD1	1 TS, KD1	2460	768	3228	7238	9000
2 TS, KD2	1 TS, KD1	2152	768	2921	10372	12000
2 TS, KD2	1 TS, KD2	2152	752	2904	10329	12000
3 TS, KD2	1 TS, KD1	1965	768	2733	14809	18000
3 TS, KD2	1 TS, KD2	1965	752	2717	14743	18000

Tablo 5.2’den de anlaşıldığı üzere, alıcı taraftaki pencere büyüklüğünün kullanılan zaman dilimi sayısı ve kodlama düzeni ile direkt olarak ilişkisi vardır. Pencere büyüklüğünün artmasına karşın, aktarım zamanının azalması GPRS’deki TCP hızını arttırmış olur. Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere, daha önceden dile getirilen efektif bir GPRS bağlantısı için 3 ve daha yukarı zaman dilimi kullanılması gerekliliği varsayımın doğru olduğu ispatlanmış olmaktadır. 3 zaman dilimi kullanımı, 1 zaman dilimine göre aktarım zamanını yarı yarıya düşürmüş ve buna paralel olarak pencere büyüklüğünü 3 katına çıkarmıştır. Aktarım zamanının kullanılan zaman dilimi sayısına göre değiştiğini ve bunun da direkt olarak hızı

etkilediği sonucu vardık. Aynı büyüklükteki bilgiyi, aynı şartlarda %50 daha az zamanda yollarsak, saniye başına aktarılan oktet sayısını iki katına çıkarmış oluruz.

5.3.3 Tekrar Gönderme Zamanlayıcısının Eşik Değeri(RTO)

Tekrar Gönderme Zamanlayıcısı eşik değeri aktarım zamanını ve dolayısıyla performansı etkileyen diğer bir faktördür. Tekrar gönderme zamanlayıcısının eşik değeri, kaybolmayan bütün paketlerin iletebilmesi için yeteri kadar büyük olmalıdır. TCP, bu eşik değerini bağlantı süresince elde edilen RTT değerlerine göre otomatik olarak ayarlar. Bununla birlikte TCP'deki başlangıç tekrar gönderme zamanlayıcısının eşik değeri(RTO) 3 saniyedir. GPRS şebekesinde, bu başlangıç değeri bağlantının başında tekrar göndermelere neden olur. Bunun sonucu olarak tıkanıklık penceresi büyüyemez ve tıkanıklık engellemesi fazına girilir. Bu nedenle olması gereken TCP gönderici taraf başlangıç RTO değeri şu formülle bulunur;

$$RTO_{\text{başlangıç}} = W_{\text{GPRS}} / BW_{\text{DL}} + T_{\text{TBF}} \quad (6.11)$$

$$T_{\text{TBF}} = \text{Aşağı yönde TBF oluşturma zamanı} \quad (6.12)$$

Yukarıda anlatılardan çıkarılan sonuç, GPRS'deki bağlantı için gerekli olan RTO değerinin hesaplamasında etkili olan RTT değerinin elverişli bant genişliğine göre değişmesidir. Elverişli bant genişliği ise, baz istasyonunda GPRS için kullanılabilen zaman dilimi sayısına göre değişir. Dolayısıyla RTO değeri ile GPRS zaman dilimi / kodlama düzeni arasında direkt olarak bir ilişki vardır.

RTO değerini etkileyen diğer faktör ise, TBF oluşturma zamanıdır. TBF oluşturma bağlantı kararlığı için önemli bir parametre olduğu için TBF oluşturma zamanları yüksektir. Tablo 5.3'de kodlama düzenleri 1 ve 2(KD 1-2) ve farklı sayıdaki zaman aralığı(timeslot:TS) için BW_{DL} değerleri, GPRS çerçeve büyüklüğü ve RTO değerleri vardır.

Zaman dilimi sayısına göre elverişli bant genişliğinin değişmesi, buna bağlı olarak RTT değerinin ve RTO değerinin düşmesine neden olur. RTO değerinin düşmesi tıkanıklık penceresi ve elverişli bant genişliğinin artmasının sonucudur. Bütün bu parametre değerleri arasında sıkı bir bağlantı vardır. Tablo 5.3'de bütün bu anlattıklarımızı doğrulayan bilgiler mevcuttur.

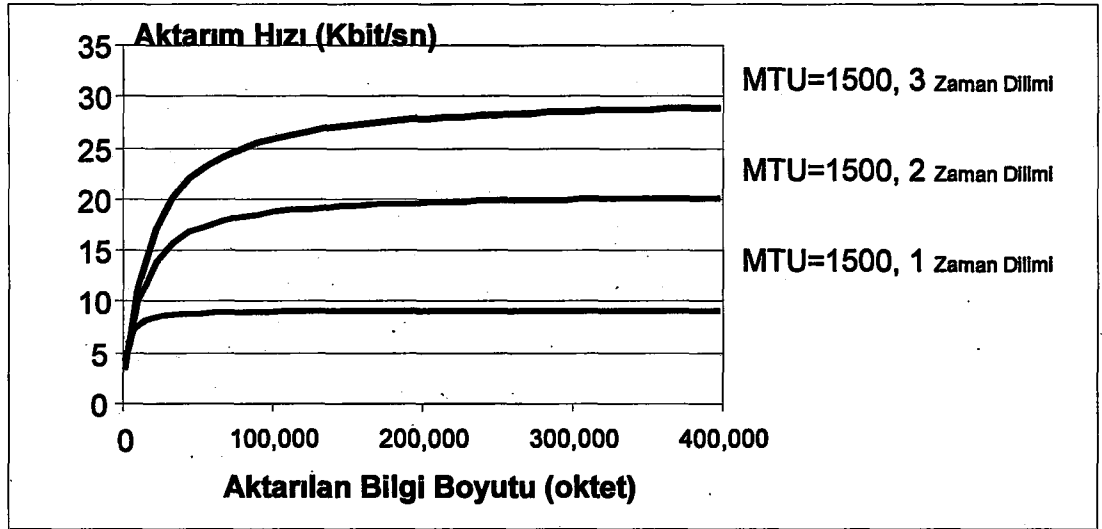
Tablo 5.3 GPRS’de RTO Değeri Değişimi

Bw_{DL}	W_{GPRS} (oktet)	$RTO_{başlangıç}$ (saniye)
1 TS, KD1	6000	11
1 TS, KD2	7500	9
2 TS, KD1	9000	9
2 TS, KD2	12000	8
3 TS, KD1	18000	8
3 TS, KD2	18000	8

Buraya kadar verilen bilgilerde alıcı pencere büyüklüğünün GPRS performansı açısından önemli olduğu, bu parametrenin GPRS’deki RTT değeri ile direkt olarak alakalı olduğu anlatıldı. Yine RTT değerlerinin RTO değerine karar vermede kullanıldığı ve eşik değerinin yanlış verilmesinin TCP’nin GPRS üzerindeki performansını etkilediği gösterilmiş oldu. Tablo 5.3’den çıkan sonuç normal TCP bağlantısında 3 saniye olan RTO başlangıç değerinin, 3 zaman dilimi kullanan efektif bir GPRS oturumu için 7 saniyeden büyük olmasıdır.

GPRS üzerinden herhangi bir TCP bağlantısı yapıldığında, bağlantının başında tıkanıklık engelleme fazına girilmesi kaçınılmazdır. Çünkü normal TCP bağlantısında RTO’nun başlangıç değeri 3 saniyedir. GPRS bağlantısında 3 zaman dilimi için olması gereken RTO değeri ise 8 saniyedir. Bu nedenle bağlantının en başında yeniden göndermeler başlar, tıkanıklık penceresi düşürülür ve tıkanıklık engelleme fazına girilir. TCP protokolü, RTT değerlerine göre dinamik olarak RTO değerini hesaplar. Dolayısıyla aktarılan bilgi miktarına göre, bağlantının performansının değişeceği varsayımı yapılır. Bu varsayımı kanıtlamak için yapılan testler sonucunda, aşağıdaki şekil oluşturulmuştur. Şekil 5.1’e göre daha önceden bahsedilen teorik hızlar, belirli büyüklükte bilgi aktarımı yapılmasıyla mümkündür.

Diğer bir ifadeyle, efektif bir GPRS bağlantısı için belirli büyüklükte bilgi aktarımı yapılmalıdır. Küçük boyuttaki dosyaların aktarımındaki ortalama hız, GPRS bağlantısının oluşturulması ve sona erdirilmesi sürelerinin etkili olması nedeniyle çok kararlı değildir. Hızı etkileyen diğer önemli faktör ise, RTO değerinin başlangıçta GPRS bağlantısı için küçük olması, kararlı durum için zaman gerektirmesidir.



Şekil 5.1 Aktarılan Bilgi Boyutuna Göre Hız

Yukarıdaki şekilden çıkarılan sonuç, büyük bilgi aktarımlarında GPRS'deki teorik hızların elde edilebilmesidir. Diğer bir sonuç ise GPRS'in internet'de gezinme performansının iyi olmadığıdır, çünkü tipik bir Internet sayfası 20000 oktet civarındadır. Yukarıda elde edilen sonuçlar, bit hata oranının düşük olduğu ortamlarda yapılmıştır. Genel anlamda 50000 oktet büyüklüğünün altındaki bilgi transferlerinde performansın % 40 düştüğü tespit edilmiştir. GPRS'in özelliğinden kaynaklanan bu problemin kablosuz şebekelerde performansı arttıran tekniklerle bile giderilmesi oldukça zordur.

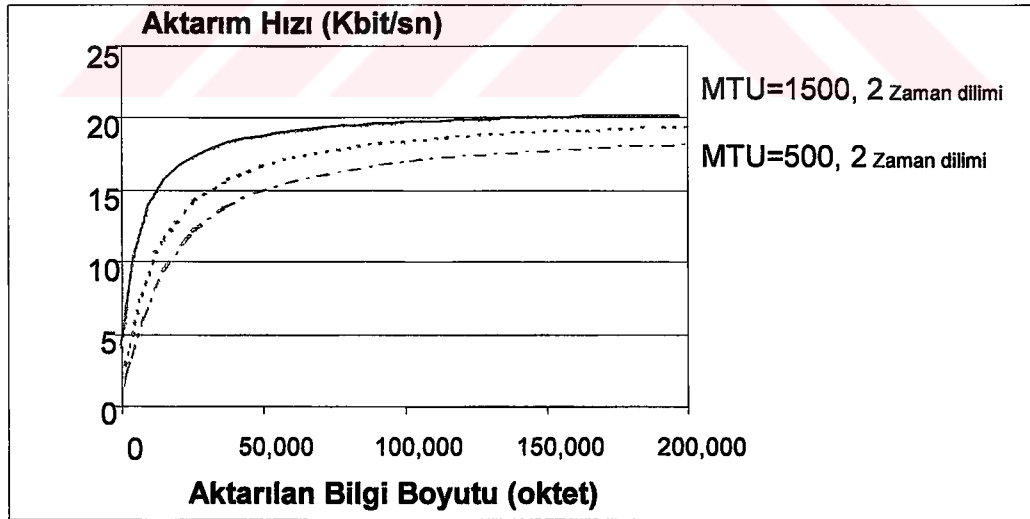
5.3.4 MTU Büyüklüğü

Daha önceden MTU büyüklüğünün GPRS performansına etkisi olduğu belirtilmişti. Bu tezimizi ispatlamak için, GPRS'in protokol yapısının incelenmesi ve bazı deneylerin yapılması gerekmektedir. GPRS'in kullandığı protokoller incelendiğinde, performansa MTU büyüklüğüyle bağlantılı olarak etkileyen iki protokol katmanı olduğu göze çarpar. Bunlar SNDTCP ve LLC protokolleridir.

SNDTCP ve LLC protokolleri, GPRS bağlantısı açısından farklı farklı görevler üstlenmişlerdir. Her bir protokolde oluşturulacak paketlerin bilgi alanı ve başlık bilgisi büyüklüğü kısıtlanmıştır. Dolayısıyla, GPRS protokol yapısı göz önüne alınarak bir RLC/MAC bloğunun oluşturulması aşamaları incelendiğinde, bir IP paketinden SNDTCP paketi yaratılması gerekliliği ile karşılaşılır. Bir SNDTCP segment'i yaratılırken yukarıdan gelen IP paketinin büyüklüğüne göre davranılır. Eğer yukarıdan gelen IP paketi, bir SNDTCP segment'inin maksimum bilgi alanından

fazla ise ikinci bir SNDCP segment'i ve bu segment'in başlık bilgisi yaratılır. Dolayısıyla bir yerine iki adet başlık bilgisinin aktarımı söz konusu olacaktır.

Toplam bilgi aktarımı düşünüldüğünde, MTU parametresi ile kısıtlanmış her bir IP paketine ilişkin başlık bilgilerinin aktarılması düşünülmelidir. Eğer üst katmandan gelen IP paket boyutu, SNDCP protokolünün bilgi alanından küçük ise sadece bir SNDCP segment'i yaratılacak ve bir başlık bilgisi eklenecektir. SNDCP maksimum bilgi alanı ile IP paketi boyutu arasında çok fazla fark olursa, toplam bilgi aktarımı düşünüldüğünde gereksiz yere başlık bilgisi aktarımı söz konusu olacaktır. Benzer mantık SNDCP segment'i ile LLC segment'i arasında da vardır. Bazı üretici firmalarının sistemlerindeki protokol yapısı özellikleri incelendiğinde SNDCP ile LLC arasındaki veri aktarımının optimizme edildiği gözlemlenmiştir. Asıl optimizme edilmesi gereken parametre MTU büyüklüğüdür. MTU büyüklüğü ne kadar fazla olursa, yavaş başlama işleminden sonra tıkanıklık penceresinin maksimum değerine ulaşmak o kadar çabuk olur. Şekil 5.2'de, Motorola GPRS sistemi kullanılarak değişik MTU büyüklüğündeki çeşitli bilgi aktarımlarında saniyede aktarılan oktetin nasıl değiştiği gösterilmektedir.



Şekil 5.2 MTU Büyüklüğüne Göre GPRS'de Hız

Şekil 5.2'den çıkan sonuç, efektif bir GPRS bağlantısı için MTU büyüklüğünün 1500 oktet seçilmesi ve aktarılan bilgi boyutunun 100000 oktet'den büyük olmasıdır.

5.4 C/I Dağılımının GPRS Performansına Etkisi

Daha önceden bahsedilen C/I dağılımının GPRS performansına etkisini ispatlamak ve bunun için optimum değerleri bulmak için, GPRS'deki kodlama düzenleri uygulanmasını analiz etmemiz gerekmektedir. GPRS'de 4 farklı kodlama düzeni vardır. Her bir kodlama düzeninin izin verdiği kullanıcıya ait bilgi alanı ve kontrol alanı farklıdır. GPRS bağlantıları için GSM altyapısı kullanıldığından, GSM'de kullanılan modülasyon ve pencere yapısı değişmemektedir. Diğer bir ifadeyle, her bir RLC/MAC bloğu 20 milisaniyede 456 bit olarak transfer edilir ve 456 bit içerisindeki kullanıcıya ait olan bilgi kodlama düzenine göre değişmektedir.

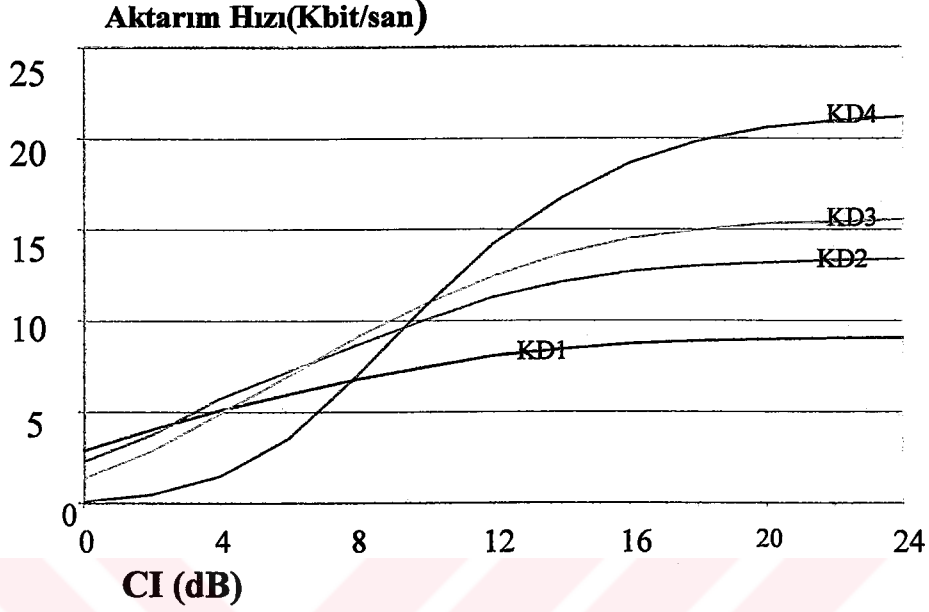
Kodlama düzenlerindeki bilgi ve kontrol alanları incelendiğinde, kodlama düzeni-1'de kullanıcıya ait bilgi miktarının en az, kontrol alanının ise en fazla olduğu göze çarpar. Bu kodlama düzeninde konvansiyonel kodlama kullanılmaktadır. Kodlama düzeni-2 ve 3'de kullanıcı bilgi alanlarının sırasıyla daha fazla olduğu, kontrol alanlarının ise sırasıyla daha az olduğu göze çarpar. Ve bu iki düzende de konvansiyonel kodlama kullanılır. Kodlama Düzeni-4'de ise kullanıcı bilgi alanının en fazla, kontrol alanının ise en az olduğu görülür. Ve bu düzende konvansiyonel kodlama yoktur.

Kodlama düzenlerinin seçilmesinde ve blokların farklı kodlama düzeniyle kodlanmasındaki asıl parametrenin ne olduğu araştırıldığında, bu parametrenin C/I oranı olduğu açığa çıkar. Her bir servis sağlayıcının sistemindeki, kodlama düzeni seçme algoritmasındaki asıl faktör C/I değeridir. C/I oranı taşıyıcı sinyal gücünün interferans sinyal gücüne decibell cinsinden ifadesidir. C/I şu şekilde formüle edilebilir.

$$C/I(\text{dB}) = 10 \log_{10}(C(w)/I(w)) \quad (6.13)$$

Daha önceden testleri yapılan, aktarılan bilgi boyutu ve MTU büyüklüğünün performansa etkisi araştırılırken C/I değerinin 14 dB olduğu tespit edilmiştir. Mobil terminalin yeri değiştirilmeden farklı büyüklükteki dosya transferleri ve farklı MTU büyüklükleri denenmiştir. Diğer bir ifadeyle C/I değeri aynı tutularak diğer parametrelerin performansa etkisi incelenmiştir. Bundan sonraki incelenecek konu, C/I değerinin kodlama düzenlerinin seçilmesindeki etkisi ve performansı nasıl etkilediğidir.

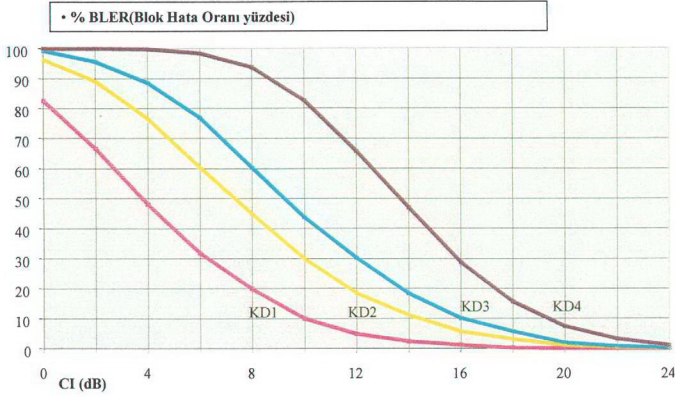
Yapılan ölçümlerde dikkat edilen, aktarılan bilgi büyüklüğünü ve MTU büyüklüğünü değiştirmeden, sadece mobil istasyonun yerini farklı C/I değerlerinde ölçüm yapmak için değiştirerek C/I değerinin performansa etkisini araştırmaktır.



Şekil 5.3 C/I dağılımının GPRS Bağlantı Performansına Etkisi

Şekil 5.3'te C/I değerlerine göre kodlama düzenlerinin performansı gözükmemektedir. Kodlama düzeni 1 ve 2'nin C/I değerinin değişimine gösterdiği tepki kodlama düzeni 3 ve 4'e göre daha azdır. Kodlama düzeni 3 ve 4'ü, C/I değerinin 10 dB'den düşük olduğu yerlerde kullanmanın gereksiz olduğu açıkça gösterilmiştir. Kodlama düzeni 1'in C/I değerinin 10 dB'yi aştığı yerlerde teorik hızlarına ulaştığı gözlemlenmiştir. Kodlama düzeni 2'nin C/I değerinin 14 dB'den büyük olduğu yerlerde, kodlama düzeni 3'ün C/I değerinin 16 dB'den büyük olan yerlerde, kodlama düzeni 4'ün ise C/I değerinin 20 dB'den büyük değerlerde teorik hızlarına ulaştığı tespit edilmiştir.

Sonuç itibariyle C/I değeri, radyo bloklarının doğru gönderilip gönderilmediğini etkilediği için TCP performansına direkt etkisi vardır. Radyo bloklarının büyük olasılıkla hava ara yüzünde hataya maruz kalması, gecikmeye neden olacak bu da TCP'nin gereksiz yere tıkanıklık engelleme fazına girmesine ve doğru olarak alınmış TCP paketlerinin tekrar göndermesine neden olacaktır. GPRS, yapısı gereği hava ara yüzündeki C/I değerine göre farklı kodlama düzenlerinin seçilmesini ve oluşabilecek radyo bloğu gönderim hatalarını optimum hale getirmesini sağlar. Radyo bloklarının hata oranlarının C/I değerlerine göre, nasıl değiştiğini göstermek amacıyla 50 farklı yerde test yapılmış ve bu testler sonucunda çıkan sonuç Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4 C/I dağılımının Kodlama Düzeni Seçimine Etkisi

Bu grafikten, her kodlama düzeni için blok hata oranlarının % 10'un altına düştüğü C/I değerleri rahatlıkla bulunabilir. TCP'nin GPRS üzerindeki performansını etkileyecek olan C/I değerinin optimize edilerek yapılan ölçümlerde GPRS'in değişik kodlama düzenlerindeki maksimum teorik hızlarına ulaştığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, efektif bir GPRS bağlantısı için operatörlerin şebekelerindeki C/I dağılımlarını optimize etmeleri gerekmektedir. Kodlama düzeni 3 ve 4'ün kullanılabilmesi için en az 18 dB'nin üzerinde C/I değeri gerekmektedir. Şu anki servis sağlayıcıların çoğunda kodlama düzeni 1 ve 2 kullanılmaktadır. Şebekedeki C/I dağılımı, planlaması iyi yapılmış hücresel bir şebekede 12 dB'nin üzerindedir. Dolayısıyla Kodlama Düzeni 2'nin maksimum teorik hızına ulaşması beklenebilir. Yapılan testlerde hızın, zaman dilimi başına IP seviyesinde saniyede 10000 oktet olduğu tespit edilmiştir. Teorik maksimum hızın 11900 oktet olduğu düşünülürse, aradaki farkın gecikmeye bağlı olarak gereksiz tıkanıklık engelleme fazı olduğu söylenebilir. Bu gecikmenin ve gereksiz tekrar göndermenin nedeni GPRS için başlangıç RTO değerinin normal TCP bağlantılarından fazla olmasıdır. Başlangıç RTO değerlerinin fazla olmasının diğer bir nedeni ise GPRS için gerekli olan TBF oluşturmak için harcanan zamandır. Dolayısıyla performansı etkileyen diğer bir parametre olan TBF konusu araştırılmalıdır.

5.5 TBF'in Performansa Etkisi

TBF(Temporary Block Flow) RLC/MAC bloklarının transferi için, LLC çerçevelerine özel oluşturulan bir akış kontrolüdür. GPRS sistem yapısında, mobil istasyon belirli sayıda radyo bloğunun transferine ihtiyaç duyduğunda radyo kanallarının tahsisi söz konusudur. Kaynak için talep üst katman protokollerinden gelir ve LLC çerçevesi yaratılır. Eğer talep geldiğinde, mobil istasyon hali hazırda bir GPRS bağlantısı gerçekleştiriyorsa, mevcut TBF'i yeni gelen LLC çerçevesi için de kullanır. Bunun için tek şart mevcut TBF'in ölüm periyoduna girmiş olmamasıdır. Aksi takdirde yeni TBF oluşturulmak zorunluluğu vardır. Ölüm periyodu eşik değeri, oluşturulan TBF'in transfer edilmesi için en son kalan radyo sayısı olarak yorumlanır. Ölüm periyodu eşik değerinin 15 olarak tanımlanmış olduğunu varsayalım. Eğer LLC çerçevesinin transfer için bekleyen son 15 bloğu kalmış ise, bu TBF ölüm periyoduna girmiştir. Efektif bir GPRS bağlantısı için, TBF ölüm periyodu parametre değeri çok iyi seçilmelidir. Bu değer, bir bağlantı sırasında oluşturulacak toplam TBF sayısını etkileyeceğinden toplam transfer zamanını ve RTT değerlerini de etkileyecektir. Değişik bağlantılar için, değişik ölüm periyot eşik değerlerinin performansı değiştirdiği gözlemlenmiştir. Örnek olarak bir HTTP uygulaması için bu değerin 15 olması, ftp uygulaması içinde 6 olması en optimum çözümdür.

Servis sağlayıcılarının GPRS özellikleri incelendiğinde, TBF oluşturmak için harcanan zamanın değiştiği gözlemlenmiştir. TBF oluşturma zamanının TCP performansına direkt olarak etkisi vardır. Aktarım zamanını direkt olarak etkilemesi bunun en büyük nedenidir.

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

TCP performansının GPRS şebekesi üzerinde artırılması için yapılan araştırma sonucunda, kablosuz şebekelerde TCP performansını arttıran geleneksel tekniklerin GPRS şebekesi üzerinde etkili olmadığı ortaya çıkmıştır. GPRS'in akış kontrolü ve kodlama düzeninin diğer hücresel şebekelerden farklı olması, yalın olarak daha iyi bir performans göstermesine neden olur. GPRS'de 4 farklı kodlama düzeninin kullanılması, bu kodlama düzenlerinin işaret seviyesinin düşük olduğu ve interferans'ın olduğu durumlara göre değiştirilmesi, GPRS'e efektif bir bağlantı özelliği katmaktadır. GPRS üzerinde TCP performansını arttırmak için TCP parametre optimizasyonuna, GPRS parametre optimizasyonuna ve operatörün iyi bir C/I dağılımına ihtiyaç vardır.

TCP optimizasyonundan kasıt MTU büyüklüğünün optimizasyonun yapılmasıdır. Testler, MTU büyüklüğünün performansı % 15 oranında etkilediğini göstermiştir. GPRS optimizasyonundan kasıt, servis sağlayıcıya özgü olan TBF oluşturma ve ölüm zamanlarının optimize edilmesidir. Bu parametreler direkt olarak GPRS şebekesi üzerinden gerçekleşen TCP bağlantısının RTO değerini etkilemektedir. Operatörlerin iyi bir C/I dağılımına sahip olmaları, bağlantı sırasında daha yüksek kodlama düzenlerinin kullanılmasına dolayısıyla daha hızlı kullanıcı bilgisi aktarımına neden olur. Bu sonuç, yapılan testlerden çıkarılmıştır. Yapılan testlerden çıkan diğer bir sonuç ise, aktarılan bilgi boyutunun performans etkisidir. TBF oluşturma ve ölüm zamanının optimize edilmesinden sonra bile, RTO başlangıç değerinin 3 saniye veya daha aşağıda olması beklenemez. Dolayısıyla GPRS üzerinden gerçekleştirilen TCP bağlantısının başında tıkanıklık engelleme ve hızlı düzeltme algoritmasının işletilmesi kaçınılmazdır. Bu problem, sadece TCP sunucu algoritmasında değişiklik yapılarak giderilebilir. Yapılan testler sonucunda, aktarılan bilgi boyutunun artmasıyla saniyede ortalama aktarılan bilgi miktarının arttığı tespit edilmiş ve hatta bir servis sağlayıcının GPRS şebekesindeki maksimum teorik hızlara çok yakın hızlar gözlemlenmiştir. Bunun nedeni TCP'nin değişen RTT değerlerine göre RTO değerini ayarlaması ve bağlantının belirli zamanından sonra tıkanıklık

engelleme fazına girmemesidir. Bu bilgiye dayanarak, GPRS üzerinden TCP bağlantısının performansının düşük boyuttaki dosyaların aktarımında iyi olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle GPRS üzerinden gerçekleştirilen uygulamaların seçiminde bu gerçeğin göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Optimum performansı bazı şartlara bağlı olmasına karşın, GPRS sistemi şu an itibariyle 40 ülke ve 110 operatörde aktif şekilde kullanılmaktadır. UMTS konusundaki gecikmeler nedeniyle, önümüzdeki 5 yıl içerisinde GPRS'in yaygın şekilde kullanılması beklenmektedir. Hücresel telefon sisteminde en hızlı bilgi bağlantısı ve paket bağlaşıma geçiş entegrasyonu GPRS ile sağlanmaktadır. İnternet uygulamalarının artmasıyla birlikte, GPRS'in en popüler servisinin de İnternet erişimi olacağı kesindir.



KAYNAKLAR

- [1] Allman, M. and Paxson, V., 1999. *On Estimating End-to-End Network Path Properties*, In Proceedings of ACM SIGCOMM 99.
- [2] Balakrishnan, H., Katz, R.H and Seshan, S., 1995. *Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks*, ACM/Baltzer Wireless Networks Journal, Vol. 1, No. 4, 469-481, December 1995.
- [3] Bhagwat, P., Bhattacharya, P.A, Krishna, A., Tripathi S. K., 1997. *Using channel state dependent packet scheduling to improve TCP throughput over wireless LANs*, ACM/Baltzer Wireless Networks Journal, Vol. 3, No. 1, January 1997.
- [4] Brown, K. and Singh, S., 1997. *M-TCP: TCP for Mobile Cellular Networks*, ACM Computer Communication Review, Vol. 27, No. 5, October 1997.
- [5] Cáceres, R. and Iftode L., 1995. *Improving the Performance of Reliable Transport Protocols in Mobile Computing Environments*, IEEE Journal of Selected Areas in Communication, Vol. 13, No. 5, 850-857, June 1995.
- [6] Chenpeng, F., 2001. *TCP Veno: End-To-End Congestion Control Over Heterogeneous Networks*, PhD Thesis, The Chinese University Of Hong Kong, July 2001
- [7] Goel, S. and Sanghi, D, 2000. *Improving TCP Performance Over Wireless Links*, Computer Science & Engineering Department, Indian Institute of Technology, Technical report 208 016, December 2000.
- [8] Gudding, H., 2000. *Capacity Analysis of GPRS*, Master Thesis, department of Telematics Faculty of Electrical Engineering and Telecommunication, Norwegian University of Science and Technology, March 2000.
- [9] Karn, P., Partridge, C., 1988. *Improving Round-Trip Time Estimates in Reliable Transport Protocols*, In Proceedings of ACM SIGCOMM 88.
- [10] Ludwig, R., Katz, R.H., 2000. *The Eifel Algorithm: Making TCP Robust Against Spurious Retransmissions*, ACM Computer Communication Review, Vol. 30, No. 1, January 2000.
- [11] Ludwig, R., 1999. *A Case for Flow-Adaptive Wireless Links*, University of California at Berkeley, Technical Report UCB//CSD-99-1053, May 1999.
- [12] M., Stephen, H., Nitin, 1999. *TCP Enhancements for Heterogeneous Networks I*, Department of Computer Science, Texas A&M University College Station, Technical Report, TX 77843-3112, April 1997.
- [13] Patel, M., Tanna N., Patel P., Banerjee R., 2001. *TCP over Wireless Networks: Issues, Challenges and Survey of Solutions*, Computer Science Department, The University of Texas at Dallas, Technical Report TX 75080, November 2001

- [14] Postel, J., 1981. *Internet Protocol*, RFC 791, September 1981.
- [15] Postel, J., 1981. *Transmission Control Protocol*, RFC 793, September 1981.
- [16] Rendón, J., Casadevall F., Lluís J., 2000. *Wire line TCP Options Behaviour in the GPRS Network*, Polytechnic University of Catalonia (UPC) – Department of Signal Theory and Communications Campus Nord, Modul D4, C/Jordi Girona 1-3, Technical report 08034, Barcelona SPAIN.



ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Kırklareli’de doğdum. İlk, ortaokul ve lise eğitimimi Bandırma’da tamamladım. 1994 yılında, Dokuz Eylül Üniversitesi’nin Elektrik-Elektronik Mühendisliği lisans programına başladım. 1999 yılında mühendislik fakültesi ikincisi ve bölüm birincisi olarak Elektrik-Elektronik mühendisi unvanını kazandım. 1999 yılının eylül ayından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği yüksek lisans programında çalışmalarımı sürdürmekte ve bir özel şirkette planlama mühendisi olarak çalışmaktayım.



İTÜ YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANASYON MERKEZİ