

HİBRİT BAĞLAŞMALI ŞEBEKELER İÇİN
PERFORMANS MODELLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Hakkı Asım TERCİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Mayıs 1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 1996

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Günsel DURUSOY

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. A.Hamdi KAYRAN
Prof. Dr. Erdal PANAYIRCI

HAZİRAN 1996

ÖNSÖZ

Bana bu çalışmayı yapma olanağını veren Sayın Prof. Dr. Günsel DURUSOY'a, çalışmalarım süresince gösterdiği anlayış ve yardımlardan dolayı içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Yazım ve basım sırasında imkanlarını kullanımına sunan Araştırma Görevlisi Sayın Orhan UÇAR'a da ayrıca teşekkür ederim.

İstanbul, Mayıs 1996

Hakkı Asım TERCİ

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. TEMEL KAVRAMLAR	6
2.1. Trafik Grupları	6
2.2. İntegrasyon	8
2.3. Çoğullama Düzeni ..	9
2.3.1. Çerçeve Yapısı	10
2.3.2. Sınır	14
2.3.2.1. Sabit Sınır	15
2.3.2.2. Hareketli Sınır	15
2.4. Sistemin Gruplara Karşı Davranışı	17
2.5. Sistemin En Önemli Performans Parametreleri	18
2.6. Analizler İçin Zaman Domeni Seçimi	19
2.7. Sürekli Zaman Analizleri	20
2.7.1. Modellerde Kullanılan Analiz Yöntemleri	20
2.7.2. Tam Analiz Yöntemi	22
2.8. Modellerin Ortak Özellikleri	24
BÖLÜM 3. 2. TİP ÇERÇEVE YAPISINA AİT MODELLER	26
3.1. FCFS Modeli	26
3.1.1. Modelin Özellikleri	26
3.1.2. Durum Diyagramı ve Analizler	27
3.1.3. Kontroller	31
3.1.4. Sonuçlar	32

3.2. Çağırma Öncelikli Model	34
3.2.1. Modelin Özellikleri	34
3.2.2. Durum Diyagramı ve Analizler	34
3.2.3. Kontroller	37
3.2.4. Sonuçlar	38
BÖLÜM 4. HAREKETLİ SINIR MODELLERİ	41
4.1. Hareketli Sınırdaki Çalışma Şekli	42
4.2. $N_1=N_2=1$ Olan Hareketli Sınır Modeli	43
4.2.1. Modelin Özellikleri	43
4.2.2. Durum Diyagramı ve Analizler	43
4.2.3. Kontroller	49
4.2.4. Sonuçlar	51
4.3. Düşük-Yük Bölgesi İçin Hareketli Sınır Modeli	55
4.3.1. Modelin Özellikleri	55
4.3.2. Analizler	56
4.3.3. Kontroller	57
4.3.4. Sonuçlar	58
4.4. Aşırı-Yük Bölgesi İçin Akış Kontrolü	60
4.4.1. Aşırı-Yük Bölgesinde Çalışma	60
4.4.2. Akış Kontrolü	62
4.5. Çağırılardaki Sessizlik Sürelerinden Yararlanma ...	63
4.5.1. MB-2'nin Modellenmesi	65
BÖLÜM 5. SONUÇLAR	67
5.1. Hibrit Bağlaşmanın Performansı	67
5.2. Hibrit Bağlaşmanın Kullanım Alanları	71
KAYNAKLAR	74
EK A	76
ÖZGEÇMİŞ	81

ÖZET

Hibrit bağlaşma; devre ve paket bağlaşmanın birlikte kullanılmasına imkan veren bir tekniktir. Bu tekniğin kullanıldığı bir ortamda, çağırma ve veri olmak üzere temelde iki farklı trafik grubu vardır. Hibrit bağlaşmalı bir yapının performans modellemesi, bu iki farklı trafik grubu arasındaki etkileşimden dolayı teletrafik teorisi açısından değişik bir uygulamadır.

Bu çalışmada, çeşitli hibrit bağlaşma yapılarına ilişkin performans modelleri incelenmiştir. Tüm modellerde, ilk önce ele alınan yapının özellikleri ortaya konduktan sonra yapılan analizler sayesinde sistemin en önemli performans parametreleri olan çağırımların blokaj olasılığı, P_B , ile paketlerin ortalama zaman gecikmesi, $E(T)$, ifadeleri bulunmuştur. Daha sonra bulunan ifadelerin doğruluğundan emin olmak için ele alınan yapıların eşdeğerlerine veya limit durumlarına göre kontroller yapılmıştır. Son olarak da eşdeğer ayrı sistemlerle ve diğer hibrit bağlaşma yapılarıyla karşılaştırma yapmak, iki grubun birbirinin performansı üzerindeki etkisini görmek ve incelenen hibrit sistemin genel olarak performansını düzeltme yolları önermek amacıyla bulunan sonuçlar üzerinde yorumlar yapılmıştır.

Bu çalışmada hibrit bağlaşmalı yapılar sadece performans modellemesi açısından ele alınmıştır. Bununla birlikte, hibrit bağlaşmanın ana hatlarına ve kullanılan çoğullama düzenine ayrıntılı olarak 2. Bölüm'de yer verilmiştir.

İncelenen modellerin tümü SENET tipi hibrit bağlaşmalı yapılara aittir. Her iki gruptaki tüm hizmetlerin aynı hızda oldukları kabul edilmiştir. Erişim imkanı bulunmadığında çağırımlar bloke edilmekte; paketler ise kuyruğa alınmaktadır. Sürekli zamanda yapılan modellerdeki analizlerin çoğunda tam analiz yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, tek başlarına davranışları daha önceden bilinen iki farklı trafik grubunun çeşitli hibrit bağlaşma yapılarındaki performanslarının ne olacağını bulmaktır.

SUMMARY

PERFORMANCE MODELS FOR HYBRID SWITCHED NETWORKS

I. INTRODUCTION

In this study, performance models for various SENET (Slotted Envelope Network) type of hybrid switched structures are investigated. Hybrid switching is a technique (scheme) which enables simultaneous circuit and packet switched services to be provided in the same network. It is considered as a third switching method which combines the features of two switching techniques within the single environment. Performance modeling of hybrid switching is a very interesting application from the teletraffic theory point of view, because of the interaction between circuit and packet switched traffic.

Hybrid switching can be usually used among some common nodes of the separated circuit and packet switched networks belonging to the same communication authority; in integrated networks like ISDN; in local networks and mobile communication, both of which contain voice and data services.

It is apparent that circuit and packet switching are two different modes of handling traffic. So, first of all, these two techniques had moved closer together and then hybrid switching idea arised in the middle of 1970s. After basic concepts of hybrid switching were described, models were developed to evaluate the performance of hybrid switched systems. These modeling studies were being encountered between 1978 and 1986 (esp. 1983-1985) the most frequently. Although these studies have plunged since 1990 due to a great popularity of ATM (Asynchronous Transfer Mode) for last years, they have still continued nowadays.

The aim of this study is to examine the performance of circuit and packet switched traffic, which were already modeled seperately, for various basic hybrid switched structures.

This study is organized as follows. Chapter 1 is an introduction. Chapter 2 gives the basic concepts of hybrid switching and some preliminaries required during the modeling. In Chapter 3, we examine two simple models for a single channel hybrid switching scheme using the second type of frame structure:

the FCFS (First Come First Service) strategy and one in which the voice calls have preemptive priority over the packets. Chapter 4 presents two different models for the movable boundary scheme: $N_1=N_2=1$ channel case and one, which has unrestricted number of channels, works in the underload region. In this chapter, we besides handle the necessity of using a flow-control mechanism which prevents from penetrating the overload region; utilization voice silence periods and a modeling method for this case. In Chapter 5, we together evaluate the results of all models and explain the usage of hybrid switching in today. Appendix A gives general information about moment generating functions which is frequently used for numerical solutions in this study.

II. THE BASIC CONCEPTS

Traffic Groups and Integration: There are basically two different traffic groups in a hybrid switching system. The first and second groups contain the services requiring circuit and packet switching, respectively.

It is possible that there are various services with different rates in the same group, because these services are grouped according to their switching techniques. In spite of this real situation, it is assumed that all services in the same group have the same rate for simplicity and comparability of developed models. So, the first and second groups are frequently called as voice (call) traffic and data (packet) traffic, respectively. Consequently, hybrid switching systems, for which performance models are developed, are considered as though they only consist of two different traffic types, voice and data. In this study, all services in both groups are the same rate.

Hybrid switching can be perceived as an integration method which combines voice and data traffic, usually provided by seperated networks, in the same structure. In this case, hybrid switched systems have some advantages, such as using the communication facilities (especially transmission and switching) more effciently and economically than seperated networks.

Multiplexing Scheme: In hybrid switched systems, Time-Division Multiplexing (TDM) is used. The basic idea of this scheme is to multiplex two different traffic groups over the same transmission medium together and thus to be shared out the high capacity between two groups dynamically.

Frame Structure: In hybrid switched systems, two kinds of frame structure are used. 1) A frame of N slots is divided into two distinct sections by means of a boundary. The first section, containing N_1 slots, is allocated to the calls. The second sections, with $N_2=N-N_1$ slots, is reserved for the data packets. 2) A frame is handled as a whole instead of two distinct sections. In this structure, all slots in a frame can be used by both groups.

Basic features of both frame structures are listed as follows: 1)The transmission capacity is partitioned into frames, each frame is further decomposed into time slots like all TDM structures. 2)The frame length (time), which is d seconds, is fixed for all frames in order to provide synchronization and message continuity. 3)Choosing the Slot Size: The slot length only depends on its owner's rate, since d is fixed. Thus, whether users have the same rate is an unique criterion in order to determine the slot size. We assume that all users have the same rate so all slots in a frame have the same size for both frame structures. 4)Slot Allocation to the Groups: For the first frame structure, at the beginning of the frame period, voice calls are loaded into their slots in section-1 in the order of arrival. Queued packets are then placed into their slots. For the second frame structure, an incoming message is directly loaded into the frame without taking into consideration call or packet. An unique slot from every frames is assigned to each user due to the equality of all user's rates. 5)The features of the frame format used in this study are: T-1 carrier or 23B+D interface of ISDN is used as a digital transmission path. Both capacities are 1.544 Mbps. The frame length is $1/8000=125\ \mu\text{sec}$ (193 bits) which is the same as voice digitization rate. The length of all slots is 8 bits and thus there are 24 slots in a frame. One bit remaining in every frames is used for synchronization. This frame format is appropriate for both frame structure under the assumption that all users have the same rate.

Boundary: In the first frame structure, there are two different boundary cases.

1) Fixed Boundary: The boundary position and the number of the slots used by both groups are the same for every frames. It is considered that the system is divided into two independent subsections and thus the capacity is not dynamically shared between groups. Each group can only use its own slots.

2) Movable Boundary: The boundary moves towards the section-1. Voice calls again use their own slots. Data packets use not only their own slots but also free voice slots. Let $N_1(t)$, $0 \leq N_1(t) \leq N_1$, denote the number of slots occupied by calls during the t th frame. Then, $N-N_1(t)$ slots are made available within the t th frame for the transmission of packets.

An arriving call is allowed to preempt a packet occupying one of its allocated slots, if all N_1 slots are busy. The movable boundary strategy allows for a dynamic sharing of transmission capacity between groups and increases the efficiency of resource usage, because it enables the packets to utilize idle voice capacity.

The Key System Performance Parameters: In hybrid switched systems if there are not any channels for service, voice traffic is blocked and packet traffic is queued. So the key system performance parameters are the probability of loss for calls, P_B , and the expected time delay for packets, $E(T)$.

Analysis: Two distinct analysis domains are available the integration voice and data traffic onto a TDM frame. One is discrete-time analysis, in which the slot structure is explicitly accounted for in the analysis. Another is continuous-time analysis, which ignores the discrete slots of the TDM frame and focuses on the concept of channels only. It is a valid, if the frame length is small compared with the service time required to transmit both groups. For our frame format, the frame length, 125 μ sec, is much shorter than 18.75 msec, the service time of a data packet 1200 bits long, and the call holding time lasting several minutes. So, we use continuous-time analysis. In continuous-time, the discrete nature of the TDM frame can be neglected and one slot of 8 bits every 125 μ sec corresponds to 64 kbps transmission capacity. In essence, with continuous-time analysis we assume that $N=24$ channels, all of which have the same 64 kbps capacity, operate in parallel.

Several analysis methods are available to find closed-form expressions for P_B and $E(T)$. These methods will not be necessary, unless there is an interaction between groups. Because, the traffic which is not affected by the other group would be modeled, as if it were alone. In hybrid switching systems, in general only packet traffic is affected by voice traffic. $E(T)$ is thus found by one of the analysis methods listed below.

- 1) Exact Analysis: Analysis is directly performed according to real operation of the system without any assumption. It will be a valid method due to numerical difficulties, only if there are a few number of channels.
- 2) Approximative Analysis: Analysis is performed under the assumptions made in accordance with the structure of the system. There is no restriction about the number of channels, so this method is mostly used for larger systems. There are several kinds of approximative analysis methods such as fluid-flow, quasi-static, diffusion and decomposition approximations.

The exact analysis method for a few number of channels is almost always used throughout this study. Although this method may not be considered as an appropriate method in practice because of restricted number of channels, it has some advantages as follows: 1) P_B and $E(T)$ are obtained by this method the most simply and clearly. 2) It is simple to interpret P_B and $E(T)$, so we can easily see that how each group affects the other's performance; performance of each group is compared with its equivalent separated system (the equivalence of one group is found to be supposed that other group is absent); P_B and $E(T)$ can easily be checked with respect to call and packet equivalences and limit cases. 3) The interpretations made according to P_B and $E(T)$ found by this method is independent of the number of channels. 4) P_B and $E(T)$ obtained by this method usually have good references for approximative analysis.

Common Features: In addition to ones mentioned earlier, other common features which are valid for all models in this study are listed as follows: 1) The

data queue, with FIFO discipline, has infinite buffer capacity. 2) Voice and data traffic are modeled by a Poisson arrival process of the rate λ_1 and λ_2 , respectively. They also have negative exponential service time distribution with the parameter $1/\mu_1$ and $1/\mu_2$, again respectively. 3) Analysis is performed for steady state of system, all probability expressions are thus independent of time due to stationarity. 4) All hybrid switched structures are SENET type, which is the most frequently encountered and the oldest scheme of this area.

III. MODELS FOR THE SECOND TYPE OF FRAME STRUCTURE

In addition to common features, the characteristics which are valid for both models are listed as follows: 1) The second type of frame structure is used. 2) The hybrid switched scheme in this section has a single channel. The exact analysis method is thus used. 3) The voice and data equivalences of the hybrid switched scheme in this section are Erlang-B with single server loss system and M/M/1 queue, respectively.

Model Using The FCFS Discipline: A channel is assigned to either user in order of arrival. Voice arrivals will be blocked unless the channel is free. Data arrivals will be buffered in FIFO manner whenever the channel is occupied.

The two-dimensional state space of hybrid switched systems is defined by the number i of calls in progress and by the number j of packets in the system. Transitions between states follow the pattern shown in Page 27 (for $N=1$ channel, $i=0,1$ and $j=0,1,2,\dots$, with an infinite buffer size).

The balance equations written from this state diagram can be solved by utilizing recursive ways, moment-generating functions and boundary equations. In the result, P_B and $E(T)$ are found as follows:

$$P_B = \frac{\rho_1 + \rho_2}{1 + \rho_1} \quad (1) \quad \text{and} \quad \mu_2 E(T) = \frac{1}{1 - \rho_2} + \frac{\alpha \rho_1}{1 + \rho_1} \quad (2)$$

Note: Defining $\rho_1 = \lambda_1/\mu_1$, $\rho_2 = \lambda_2/\mu_2$ and letting $\alpha = (1/\mu_1)/(1/\mu_2)$ be the ratio of voice to packet service time. These parameters are always used in the expressions throughout this study.

As a check, if we set $\rho_2=0$ in Eq.(1) we get the Erlang-B blocking probability of a single channel case. With $\rho_1=0$ for Eq.(2), one gets the M/M/1 normalized time delay expression coming into view in Appendix Eq.(A.22).

The effect of the queued packets competing with calls for the common channel is to increase the blocking probability. The only way to reduce P_B substantially is to keep all traffic low.

The second term of Eq.(2) represents the increase in the time delay in accordance with packet equivalence of the system. This increase is due to the competition with calls for the use of the common channel. In practice, $\alpha \gg 1$. The time delay thus increases enormously because of the α , which appears in the numerator of the second term in Eq.(2). In other words, it is not possible to improve the time delay by varying ρ_1 and ρ_2 because of strongly dependence of α . The equilibrium condition for the data queue is $\rho_2 < 1$, coming from the denominator of the first term in Eq.(2). It is independent of ρ_1 , which is an unique positive result from the data performance point of view.

As a result, each group negatively affects the other's performance, so both P_B and $E(T)$ move worse with respect to equivalent separated systems. Then why integrate voice and data, if they interfere so severely with one another. The structure in this model, which is only chosen to easily see how each group affects the other's performance, is the least flexible scheme related to hybrid switching.

Model With Preemptive Priority: An arriving call finding the common channel occupied will preempt a packet if one is receiving service. That packet will then be queued, waiting in a FIFO manner for a channel to become free in order to complete its service. A call is blocked if, on arrival, the common channel is busy serving other calls.

In this model, it is clear that voice traffic experiences no interference from packet traffic. Their blocking probability is then just governed by the Erlang-B formula, with a single server, so that we immediately have

$$P_B = \frac{\rho_1}{1 + \rho_1} \quad (3)$$

The calculation of the normalized time delay of packets requires balance equations, written from the state diagram appearing in Page 35, and moment-generating functions to solve them. All procedures are performed, one gets

$$\mu_2 E(T) = \frac{(1 + \rho_1)^2 + \alpha \rho_1}{(1 - \rho_2(1 + \rho_1))(1 + \rho_1)} \quad (4)$$

As a check, with $\rho_1 = 0$, one again gets the M/M/1 normalized time delay expression appearing in Appendix Eq.(A.22).

The ratios of the blocking probabilities in Eq.(1) and Eq.(3) are given by

$$\frac{P_{B(FCFS)}}{P_{B(PP)}} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_1} = 1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} > 1 \Rightarrow P_{B(FCFS)} > P_{B(PP)} \quad (5)$$

As expected earlier, the blocking probability decreases with respect to FCFS manner because there is no effect coming from data packets.

Let $\alpha \gg 1$, $\rho_1 \ll 1$ and $\rho_2 < 0.5$. Then the time delay in the FCFS and preemptive priority (PP) cases are dominated by the second term in Eq.(2) and Eq.(4), respectively. Taking the ratio of these terms we get

$$\frac{E(T)_{(PP)}}{E(T)_{(FCFS)}} = \frac{1}{1 - \rho_2} > 1 \Rightarrow E(T)_{(PP)} > E(T)_{(FCFS)} \quad (6)$$

Eq.(6) clearly shows the increase in the time delay, which is due primarily to the reduced channel capacity available to the packets or the reduced probability of using the common channel. The equilibrium condition for the data queue or the maximum data load in this case is given by $\rho_2 < 1/(1+\rho_1)$, which is $\rho_2 < 1$ in the FCFS. The preemptive priority for voice traffic thus reduces the maximum data load from the same reason just mentioned above.

As a result, in the preemptive priority case, while the call performance is getting better, the data performance moves worse with respect to FCFS case. In addition, there is not a change in the voice performance according to equivalent separated system, whereas the data performance is considerably worse than the packet equivalence of the hybrid system.

IV. MOVABLE BOUNDARY MODELS

Data packets can be expected to have their queueing delay reduced with the movable boundary strategy, since advantage is taken of gaps in the voice slot assignment to transmit more packets. In this study, we only examine movable boundary case for the first type of frame structure, because substantial improvement in packet performance is obtained when a number of channels are shared rather than segregated into two separate usage categories.

For both models, idle voice slots are gained by using MB-1, explained later. Common features and the characteristics of the movable boundary are also valid.

Operation in The Movable Boundary: It can be shown that the maximum data utilization for the general N-slot movable boundary scheme, assuming an infinite data queue, is given by

$$\rho_2 < N - E(i) \text{ for } E(i) = \rho_1(1 - P_B) \quad \rho_2 < N_2 + (N_1 - \rho_1(1 - P_B)) \quad (7)$$

with P_B the Erlang-B blocking probability of the voice traffic as noted earlier; $E(i)$ the average number of calls in the system; $N - E(i)$ the average number of channel made available to the data packets.

Under the equilibrium condition, $\rho_2 < N - E(i)$, for data queue two different regions are available to operate data traffic. 1) Underload Region, $\rho_2 < N_2$: A queue with a reasonable length. 2) Overload Region, $N_2 \leq \rho_2 < N - E(i)$: Extraordinarily long data queue may result.

Movable Boundary Model with $N_1=N_2=1$ Channel: We take the special case of the movable boundary scheme with $N_1=N_2=1$ channel allocated to each of two traffic groups. The exact analysis method is thus used.

The voice and data equivalences of this scheme are Erlang-B with single server and M/M/1 queue, respectively. All checkings of this model are performed for $\rho_1 \rightarrow 0$ and $\rho_1 \rightarrow \infty$, which are the two limit cases of the system. The data queue looks like M/M/1 and M/M/2 for the case $\rho_1 \rightarrow \infty$ ($i=1$) and $\rho_1 \rightarrow 0$ ($i=0$), respectively.

The voice calls under movable boundary conditions are thus not affected by data packets. The voice traffic blocking probability is precisely the Erlang-B expression with N_1 servers, given in general case by

$$P_B = E(\rho_1, N_1) = \frac{\rho_1^{N_1} / N_1!}{\sum_{j=0}^{N_1} \rho_1^j / j!} \quad \text{and for } N_1=1 \quad P_B = \frac{\rho_1}{1 + \rho_1} \quad (8)$$

We find $\mu_2 E(T)$ for two data traffic regions to be given by following two expressions by utilizing two-dimensional state diagram shown in Page 44.

1) In the Underload Region : $\alpha \gg 1$ and $\rho_2 < N_2=1$

$$\mu_2 E(T) = \frac{4}{a(1 + \rho_1)(2 + \rho_2)} + \frac{\rho_1}{a(1 + \rho_1)} \quad (9.a)$$

2) In the Overload Region : $\alpha \gg 1$ and $\rho_2 > N_2=1$

$$\mu_2 E(T) = \frac{1}{a} \left(1 + \frac{a}{2 + \rho_2} + \frac{\alpha(\rho_2 - 1)\rho_1}{\rho_2(1 + \rho_1)^2} \right) \quad (9.b)$$

The parameter "a" represents a measure of the average capacity remaining with total utilization ρ . In general form $a = N - \rho$. For this model we have

$$a = 2 - \rho = 2 - \rho_2 - \frac{\rho_1}{1 + \rho_1} = 1 - \rho_2 + \frac{1}{1 + \rho_1} \quad (10)$$

As a check on Eq.(9.a), one gets the M/M/2 and the M/M/1 average time delay expressions, appearing in Appendix (A.31) and (A.22), for the cases $\rho_1=0$ and $\rho_1 \rightarrow \infty$, respectively. Moreover, as $\rho_2 \rightarrow 0$ -i.e., data traffic is negligible- $E(T) \rightarrow 1/\mu_2$, just the packet service time, as expected.

The blocking performance of calls is the same as fixed boundary case or call equivalence of the system, because there is not any effect from packets.

Eq.(9.a) turns out to be independent of α . So, the time delay considerably decreases with respect to two models examined in the previous section. In the underload region, the time delay varies between M/M/1 (the worst case, $\rho_1 \rightarrow \infty$) and M/M/2 (the best case, $\rho_1 = 0$) and is always better than the data equivalence of the system.

The time delay in the overload region, given by Eq.(9.b), however, is proportional to α . Since $\alpha \gg 1$ has been assumed in obtaining this result, it is apparent that the time delay increases rapidly as one attempts to penetrate the $\rho_2 > N_2 = 1$ region by driving more data traffic into the system. In the movable boundary operation, data utilization (ρ_2) may exceed the data system dedicated capacity of N_2 slots/frame. This is correct. However, inordinately large queues are found to appear in the overload region.

As a result, data traffic must always operate in the underload region and a flow-control mechanism for data traffic should be used with a movable boundary scheme to ensure that the overload region is not penetrated.

Movable Boundary Model for the Underload Region: There is no restriction about N_1 and N_2 ($N_1, N_2 > 1$). An approximation procedure, which is valid under the continuous-time assumption only, is thus used. It is assumed that the movable boundary scheme always operates in the underload region.

We obtain our approximation for the wait time, $E(w)$, by making some observation. If the voice system were always operate in a state i , the number of channels available for packets would be $N-i$ and the average wait time would be given by Erlang-C distribution. However, the movable boundary scheme does not always operate in only one state i . Instead the state of the occupancy moves randomly among N_1+1 possible values ($0 \leq i \leq N_1$). So, the wait time of the packets is found by averaging over the Erlang-C distributions of the various states. Finally, the normalized packet waiting time is obtained as follows :

$$\mu_2 E(w) = \mu_2 \sum_{i=0}^{N_1} P(i) E(w_i) = \frac{1}{a} \sum_{i=0}^{N_1} P(i) E_{2,N-i}(\rho_2) \quad (11).$$

$P(i)$ is the probability that the system is in state i and $E_{2,N-i}(\rho_2)$, shown in Eq.(4.31), is the Erlang-C distribution with $N-i$ server and ρ_2 traffic utilization. As a check, for the special case $N_1=N_2=1$ channel, analyzed in the previous subsection, Eq.(11) is reduced to the wait time obtained from Eq.(9.a). From Eq.(11), it is seen that $\mu_2 E(w)$ is inversely proportional to a . Since a is the number of free channels, which can be used by packets, it is a reasonable result.

Flow-Control for the Overload Region: The fluid-flow technique is usually used in order to model the operation in the overload region. The basic idea behind the fluid-flow approach is to model the data portion of the movable boundary system as a deterministic system and to model the queue-length distribution as a continuous process, with arriving flow λ_2 [packets/sec] and departing flow $(N-i)\mu_2$ [packets/sec]. Under this assumption, the net rate at which the data queue builds up with i voice calls in the system is then

$$r_i = \lambda_2 - (N-i)\mu_2 \quad i = 0, 1, \dots, N_1 \quad (12)$$

All parameters in Eq.(12) have already described. If $r_i > 0$ or $\lambda_2 > (N-i)\mu_2$ the data queue will tend to increase linearly at this rate. If $r_i < 0$ or $\lambda_2 < (N-i)\mu_2$, the data queue will tend to decrease.

In the overload region, as a result of the average values of i , r_i can be less than 0. But it does not guarantee that there are no excessive agglomeration in the data queue permanently. If $r_i > 0$ with the increase of i even for a very short time interval, it will be clear that large excursion in the data queue-length is possible during this short time interval because of $\alpha \gg 1$.

In this case, the movable boundary scheme should always operate in the underload region without penetrating to the overload region in order to obtain the maximum efficiency from this scheme. For this reason, a flow-control mechanism, which controls λ_2 , can be used. When λ_2 has reached $N_2\mu_2$, the limit value to enter the overload region, either following ways are used: 1) λ_2 is restricted. 2) The MB-2, enabling packets to utilize the voice silence periods, is used. i is thus decreased without reducing ρ_1 .

Using the Voice Silence Periods: In the movable boundary scheme, free voice slots are obtained in two different ways :

1) The data traffic uses the voice slots remaining naturel voice calls containing silences as well as talkspurts. 2) The packet traffic uses not only idle voice calls but also additional slots acquired to be eliminated the voice silence periods. The voice traffic only consists of talkspurts. For these two types of movable boundary scheme we use MB-1 and MB-2 notations, respectively.

For the MB-2, first of all, the silence and talkspurt sections in a voice call are distinguished to each other. This procedure is called as Digital Speech Interpolation (DSI) in the digital environment and is performed by Speech Activity Detector (SAD). The multiplexer employing SAD performs DSI as well as movable boundary functions.

Since the MB-1 can not be completely used during the voice overload periods, it is possible that large data queues build up due to $\alpha \gg 1$. However, using the MB-2 improves the data performance, because it enables the packets to utilize voice capacity even during the voice overload periods. If it is taken into

consideration that there are silences occurring as much as 60 percent of the time when a person is speaking, this improvement will be understood much easier. A scheme allowing the utilization of voice silence periods, of which packets do not make use in usual, can be used for both frame structures.

V. CONCLUSION

The results obtained from all models can be evaluated as follows :

1) All performance models related to hybrid switched systems are essentially developed for more general case, the integration of synchronous voice traffic and asynchronous data traffic. Voice and data are the most common and characteristic example of circuit and packet switching, respectively. So, it is considered that synchronous traffic is circuit switched and asynchronous traffic is packet switched. This consideration does not have any drawbacks from modeling point of view. Furthermore, it is usually valid in practice. Finally, these performance models can be applied to much more number of areas.

2) Why is hybrid switching, based on TDM, chosen for performance modeling instead of ATM, which has the great popularity nowadays? Because modeling of ATM traffic is much more difficult due to its inherent burstiness.

3) Some ways can be suggested in order to improve the system performance.
1) Voice Performance: It is not necessary to use a special scheme for the first frame structure. Calls must have preemptive priority over packets for the second frame structure. 2) Data Performance: The fixed boundary, MB-1 and MB-2 can be respectively used to obtain better data performance. There is no way to improve the packet performance except utilization voice silence periods for the second type of frame structure.

Hybrid switching, whose performance modeling is minutely employed in this study, is used in several areas as follows :

1) LANs: The Hicom LAN CP ring consists of the circuit switched section containing PABXs and connection of remote switches and the packet switched section organized as a token ring as per IEEE 802.5. Both sections provide a transmission rate of 16 Mbps over a common fiber optic cable. IVDLAN interface, defined by IEEE 802.9, contains five channels. Two of them are B channel of ISDN; one is D channel of ISDN for signalling purpose; one is C channel for video interface and the last one P channel for a LAN interface. B and C channels are assigned to circuit switched services while D and P channels are used by packet switched services.

2) ISDN: Hybrid switching is used for 23B+D interface, which is the compatible with the 1.544 Mbps T-1 standart. The 64 kbps B channel could be used for digital voice or circuit switched data; the 64 kbps D channel could be used for carrying packet switched data as well as control packets.

3) Mobile Communication: Hybrid switching is used in the integrated TDMA mobile radio systems. In this system, voice traffic, whose performance measure has been given by the M/M/C/C queueing model, is circuit switched and data traffic is packet switched using slotted ALOHA for channel access.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Hibrit bağlaşma (hybrid switching); aynı haberleşme şebekesinde eşzamanlı olarak hem devre ve hem de paket bağlaşmanın birlikte kullanılmasına imkan veren bir düzen (teknik) olarak tanımlanabilir. Devre ve paket bağlaşmayı tek bir ortam içersinde topladığı için hibrit bağlaşmaya “Tümleşik Bağlaşma (Integrated Switching)” adı da verilir.

Yukarıdaki tanımdan da anlaşılabileceği gibi hibrit bağlaşmanın kullanıldığı bir haberleşme sisteminde temelde iki farklı trafik grubu vardır. 1. grup devre bağlaşma gerektiren hizmetler (çağırma trafiği) ve 2. grup da paket bağlaşma gerektiren hizmetler (veri trafiği) şeklinde ifade edilebilir.

Temel özellikleri açısından birbirinden farklı iki teknik olan devre ve paket bağlaşma arasında ilk önce bir yakınlaşma oluşmuştur. Bu iki farklı bağlaşma tekniğinin aynı ortam içersinde beraber kullanılması yani hibrit bağlaşma fikri, bu yakınlaşmanın sonucunda ortaya çıkmıştır. Devre ve paket bağlaşma arasındaki yakınlaşmayı sağlayan başlıca gelişmeler ise şunlardır :

1) Devre bağlaşmalı kamu şebekelerinde sıradüzenli olmayan yönlendirmeye (nonhierarchical routing) doğru olan yönelim, bu şebekeleri paket bağlaşmalı şebekelere topolojik olarak benzer bir hale getirmiştir.

2) Paket bağlaşmalı ortak kanal işaretleşme sistemlerindeki gelişmeler. Bu sistemler, işaretleşmenin yanında devre bağlaşmalı kamu şebekeleri için veri iletimini de imkan verirler.

3) Sayısal bağlaşma sistemlerindeki gelişmeler sayesinde devre bağlaşmalı telefon şebekelerinin veri haberleşmesi için kullanımının son yıllarda hızlı bir şekilde artması.

Hibrit bağlaşma, genelde ayrı şebekeler tarafından karşılanan devre bağlaşmalı ses ve paket bağlaşmalı veri trafiklerini aynı ortam içersinde toplayan bir integrasyon yöntemi olarak algılanabilir. Bu durumda hibrit bağlaşma, iletim ve bağlaşma imkanlarının ayrı şebekelere göre daha verimli ve ekonomik bir şekilde kullanımını (iki grup arasında paylaşımını) sağlar.

Hibrit bağlaşmada gruplandırma, kullanılan bağlaşma tekniğine göre yapıldığı için aynı grup içersinde farklı hızlarda değişik hizmetler olabilir. Ancak gerçekte geçerli olan bu duruma karşılık, geliştirilen modellerin basitliği ve karşılaştırılabilirliği için hibrit bağlaşmada aynı grup içersindeki tüm hizmetlerin aynı hızda oldukları varsayılmıştır. Bu varsayımın sonucu olarak geliştirilen modellerin ait oldukları hibrit bağlaşmalı ortamlar, çağırma ve veri olmak üzere sadece iki farklı hizmet (trafik) çeşidi içeriyormuş gibi ele alınabilir.

Hibrit bağlaşmada çoğullama (integrasyon) yöntemi olarak Zaman-Bölmeli Çoğullama (Time-Division Multiplexing, TDM) tekniği kullanılır. Buna göre bir TDM çerçevesindeki slotlar (iletim ortamının kapasitesi) iki grup arasında ortaklaşa kullanılmaktadır. Bu ortak kullanım için değişik çözümler yani değişik TDM çerçeve yapıları mevcuttur.

Hibrit bağlaşmanın kendisine ait özel bir şebekesi olmayacağı açıktır. Bu durumda, hibrit bağlaşmalı sistem ifadesiyle aslında, genel bir haberleşme sisteminin (şebekesinin) hibrit bağlaşma kullanılan altbölümü kastedilmektedir. Hibrit bağlaşma; uygun görüldüğü takdirde aynı haberleşme organizasyonuna ait ayrı devre ve paket bağlaşmalı şebekelerin ortak belli bazı düğümleri arasında, ISDN gibi integre şebekelerde veya ses ve veri trafiklerinin her ikisini de içeren bir lokal şebekenin belli bazı düğümleri arasında veya

genelinde kullanılan bir bağlaşma tekniğidir. Uygun bir transmisyon ortamı üzerinden hem devre ve hem de paket bağlaşmalı hizmetlerin eşzamanlı olarak iletilmesini sağlayan hibrit bağlaşma, üçüncü bir bağlaşma tekniği olarak da düşünülebilir.

Hibrit bağlaşma yapılarının çoğunda, iki farklı tür trafiğin aynı ortam içersinde integrasyonu sonucu, bu iki grup arasında bir etkileşim meydana gelecektir. İşte hibrit bağlaşmanın performans modellemesiyle ortaya konulan yeni yaklaşım, bu etkileşimin tek başlarına davranışları daha önceden bilinen iki grubun performansını ne yönde değiştireceği ve genel olarak sistemin performansının ne olacağıdır.

Tarihsel Gelişimi :

Hibrit bağlaşmada kullanılan çoğullama düzeni ile 1. ve 2. tip çerçeve yapılarının esaslarına ilişkin ilk çalışmalar, ICCC (International Conference on Computer Communication)-74'te K. Kummerle ve P. Zafiropulo tarafından ortaya konulmuştur. Ayrıca sabit ve hareketli sınır kavramları da K. Kummerle tarafından yine ilk kez ICCC-74'te kullanılmıştır. Bunları 1975'deki National Telecommunication Conference' da G. Coviello ve P.A. Vena tarafından ortaya konulan ve hibrit bağlaşmayla ilgili temel yaklaşımları bünyesinde barındırdığı için bu alandaki çalışmalarda ileriki yıllarda çok sık rastlanılacak olan SENET (Slotted Envelope Network) kavramı izlemiştir.

Bu çalışmanın konusu olan hibrit bağlaşmalı sistemlere ilişkin performans modellemesi ise ilk kez 1976'da M.J. Fischer ve T.C. Harris tarafından gerçekleştirilmiştir.

Hibrit bağlaşmayla ilgili performans modellemesi çalışmalarının en yoğun olduğu dönem, 1978-1986 (özellikle 1983-1985) yılları arasındır. Bu zaman periyodunda gözlenen yoğunluğun temel nedeni, paket bağlaşmanın da önem kazanmasının aynı döneme rastlamasıdır.

Son yıllarda B-ISDN ve dolayısıyla ATM'e (Asynchronous Transfer Mode) olan ilginin önemli derecede artmasının sonucu, senkron TDM'e dayanan hibrit bağlaşmayla ilgili performans modellemesi çalışmalarında 1990'dan itibaren hissedilir bir azalma göze çarpmaktadır. Bununla birlikte, 5. Bölüm'de belirtilen başta hibrit bağlaşmanın modellenmesinin ATM'e göre çok daha basit olması gibi bir takım nedenlerin varlığından dolayı, hibrit bağlaşmayla ilgili bu çalışmalar -eskisi kadar olmamakla birlikte- günümüzde de devam etmektedir.

Hibrit bağlaşma ve sonrasında bu tekniğe ilişkin performans modellemesi fikrinin ortaya çıkışı ve gelişimi başlıca şu evrelerden geçmiştir :

- 1) İki farklı bağlaşma tekniği arasında bir yaklaşma süreci başlamıştır. Böylece bu iki farklı tekniğinin aynı sistem içersinde integrasyonu (hibrit bağlaşma) fikri ortaya çıkmıştır.
- 2) Hibrit bağlaşmanın haberleşme dünyasındaki kullanım alanı belirlenerek uygun çoğullama yöntemi, bir TDM çerçevesinin formatı, kullanılacak iletim ortamı ve diğer temel kavramlara açıklık getirilmiştir.
- 3) Hibrit bağlaşmanın genel olarak performansını ve ayrı şebekelere göre çağırma ve veri trafiklerinin performanslarındaki değişimleri görebilmek amacıyla modeller geliştirilmiştir. Bu arada modellemeye geçmeden önce analizler için zaman domenini seçimi, kullanılacak analiz yöntemleri, sistemin gruplara karşı davranışı, sistemin en önemli performans parametreleri ve temel trafik karakteristikleri gibi modelleme esnasında gerekecek bazı önemli kavramlar belirlenmiştir.
- 4) Modellerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle hibrit bağlaşmalı bir yapıda özellikle paket trafiğinin performansını daha da düzeltten esnek yapılar (akış kontrollü hareketli sınır gibi) geliştirilmiştir.

Bundan sonraki bölümlerde şu konular ele alınmıştır :

Bölüm 2’de; hibrit bağlaşımla ilgili temel kavramlara ve modelleme esnasında gerekecek bir takım önbilgilere yer verilmiştir.

Bölüm 3’te; 2. tip çerçeve yapısını kullanan tek kanallı bir hibrit bağlaşımlı yapının farklı trafik gruplarını ele alış disiplininin sırasıyla FCFS (First Come First Service) ve çağırma öncelikli olduğu iki ayrı model incelenmiştir.

Bölüm 4’te; 1. tip çerçeve yapısını kullanan $N_1=N_2=1$ kanallı ve düşük-yük bölgesi için çok kanallı iki ayrı hareketli sınır yapısına ait iki farklı model incelenmiştir. Bu bölümde ayrıca aşırı-yük bölgesi için bir akış kontrolü düzeneğinin gerekliliği ile çağırılmalardaki sessizlik sürelerinin paket trafiğine kazandırılması durumunun sistem performansına etkisi ve bu durumun nasıl modellenebileceği üzerinde durulmuştur.

Sonuç bölümü olan Bölüm 5 ise çalışma boyunca incelenen tüm modellerden elde edilen sonuçların birlikte yorumlandığı ve hibrit bağlaşımların günümüzdeki kullanım alanlarının ortaya konulduğu iki temel bölümden oluşmaktadır.

Ek-A’da ise moment üreten fonksiyonlar hakkında genel bilgi verilmiştir. Ayrıca bu fonksiyonların kuyruklama sistemlerine uygulanışı, en basit yapılar olan M/M/1 ve M/M/2 üzerinde gösterilmiştir (moment üreten fonksiyonlar bu çalışma boyunca çok sık kullanılan az sayıda kanal için tam analiz yönteminde yararlanılan bir sayısal çözüm yoludur).

BÖLÜM 2

TEMEL KAVRAMLAR

Bu bölümde, başta çoğullama yapısı olmak üzere hibrit bağlaşımlı bir sistemin ana hatları belirlendikten sonra, modelleme esnasında gerekecek bir takım önbilgilere yer verilmiştir. Bu bölüm, ileride incelenecek modellerin özellikleriyle sınırlı kalınmayıp, genel bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Bu çalışmadaki tüm yapılar için geçerli olan durumlar ise ayrıca belirtilmiştir. Böylece hem ileride ele alınan modellerin ait oldukları sistemler ve hem de hibrit bağlaşımla ilgili temel kavramlar hakkında bir fikir edinilebilir.

2.1 TRAFİK GRUPLARI

Bir hibrit bağlaşımlı sistemde gruplandırma hizmet (trafik) türlerine göre değil, bu hizmetler için kullanılan bağlama tekniklerine göre yapılır. Bu durumda böyle bir sistemde temelde sadece iki tane trafik grubu vardır :

- 1)1. Grup: Devre Bağlama Gerektiren Hizmetler
- 2) 2. Grup: Paket Bağlama Gerektiren Hizmetler

O halde hibrit bağlamanın kullanıldığı bir integre şebekedeki ses, görüntü ve devre bağlaşımlı veri gibi hizmetler 1.gruba; başta veri olmak üzere paket bağlama gerektiren hizmetler de 2. gruba girmektedir. Görüldüğü gibi ses ve görüntü gibi iki farklı hizmet, aynı bağlama tekniğini gerektirmeleri bakımından aynı grup içerisinde yer almaktadırlar.

Bu trafik grupları için önemli olan konu, her bir gruptaki hizmetlerin türü

değil, bu hizmetlerin hızlarıdır. Buna göre iki farklı durum söz konusudur :

- 1) 1. gruptaki tüm hizmetlerin aynı hızda (gerektirdikleri bandgenişliklerinin aynı) ve 2. gruptaki tüm hizmetlerin de yine aynı hızda olması.
- 2) 2. gruptaki tüm hizmetler aynı hızda iken, 1.gruptaki hizmetlerin farklı hızlarda olması. Bu durumda 1.gruptan Genişband Devre Bağlaşmalı Trafik; 2. gruptan da Darband Paket Bağlaşmalı Trafik olarak sözedilir.

1.durum için tüm 1.grup hizmetler tek bir hizmete (ses veya çağırma); benzer şekilde tüm 2. grup hizmetler de yine tek bir hizmete (veri veya paket) indirgenebilir. 2. durum için böyle bir indirgeme söz konusu olmamasına rağmen yine de 1. gruptan çağırma ve 2. gruptan veri trafiği olarak bahsedilebilir.

Bu çalışmada da bu notasyona uyulacak ve pek çok yerde 1. grup (devre bağlaşma gerektiren) trafik için çağırma (ses) trafiği ve 2. grup (paket bağlaşma gerektiren) trafik için ise paket (veri) trafiği kavramları kullanılacaktır.

Her bir grubu temsil eden tek bir hizmet olarak çağırma ve verinin seçilmesinin nedeni, çağırmanın devre bağlaşmanın, verinin ise paket bağlaşmanın en karakteristik ve en sık karşılaşılan örnekleri olmalarıdır.

Gerçekte geçerli olan 2. durumdur. Uygulamada geçerliliği pek olmayan 1. durum, daha ziyade geliştirilen modellerin basitliği ve karşılaştırılabilirliği için varsayılmış bir durumdur. Hibrit bağlaşmayla ilgili performans modellerinin çoğu bu durumla ilgilidir. Bu çalışmada da 1. duruma giren, tüm kullanıcıların aynı hızda olması özel haline ilişkin modeller incelenecektir.

Hibrit bağlaşmayla ilgili bazı çalışmalarda bağlaşma şekli hiç belirtilmeyip doğrudan 1.durum için çağırma ve paket trafiği, 2.durum için ise genişbandlı ve darbandlı trafik kavramları kullanılmaktadır. Her ne kadar böyle bir

ortamdaki hizmetler için kullanılan bağlaşma teknikleri hiç geçmesede, 5. Bölüm'de belirtilen nedenden dolayı bu tür çalışmaları da hibrit bağlaşma kapsamına almanın herhangi bir sakıncası yoktur.

2.2 İNTEGRASYON

Hibrit bağlaşma, çoğunlukla ayrı şebekeler tarafından karşılanan ses ve veri trafiğini (devre ve paket bağlaşmalı hizmetleri) aynı ortam içersinde toplayan bir integrasyon yöntemi olarak algılanabilir.

Ses-veri integrasyonunun sağlandığı hibrit bağlaşmalı bir sistemin, bu hizmetleri ayrı ayrı veren sistemlere göre üstünlükleri şunlardır :

- 1) Başta iletim ve bağlaşma olmak üzere tüm haberleşme imkanlarının daha verimli ve ekonomik bir şekilde kullanımını yani iki grup arasında dinamik bir şekilde paylaşımını sağlar.
- 2) İki farklı gruba ait değişik özelliklerdeki hizmetlerin aynı ortam üzerinden iletimini sağladığı için ayrı şebekelere göre çok daha fazla sayıda (devre, paket ve her iki bağlaşmayı da talep eden) kullanıcıya hitap eder.
- 3) Hibrit bağlaşma, kullanıldığı ortamın ihtiyaçlarına göre esnek yapılar sunar. Bunlardan en sık karşılaşılan öncelik ile çağırma trafiğinin ve hareketli sınır yapısıyla ise paket trafiğinin performanslarının, eşdeğerleri olan ayrı sistemlere göre bozulmadığı ve hatta daha da iyileştiği gözlenmektedir.
- 4) Bir bağlaşma tekniğinin sunduğu imkanlardan diğer gruba ait hizmetlerin de yararlanmasını sağlar. Böylece ayrı şebekelerde gerçekleşmesi mümkün olmayan (örneğin bir paket şebekesinde devre bağlaşmalı veri veya bir telefon şebekesinde paket bağlaşmalı ses trafiği gibi) durumlara hibrit bağlaşmalı sistemlerde rastlanabilir.

5) Hibrit bağlaşımlı bir sistemdeki tüm iletim ve bağlaşma işlemleri sayısaldır. Böylece sayısallığın sunduğu avantajlar da ayrıca geçerlidir.

Herhangi bir karışıklığa yol açmamak için hibrit bağlaşma ile integre (hibrit) trafik arasındaki farka değinelim. Hibrit bağlaşma integrasyon yöntemlerinden sadece birisidir. Ses ve veri trafikleri için integrasyon, tek bir bağlaşma tekniğiyle veya bağlaşmasız yayın yoluyla da sağlanabilir.

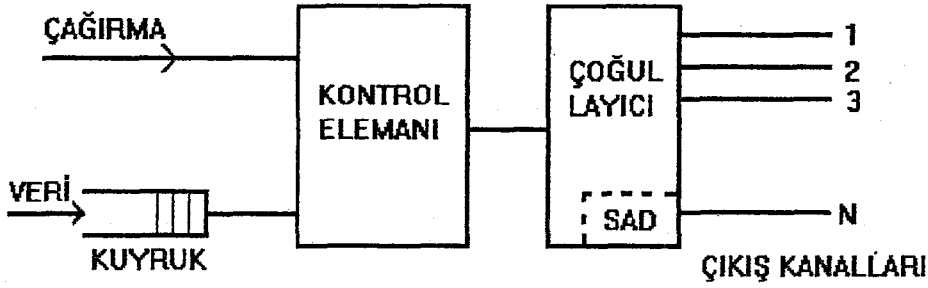
Hibrit bağlaşma açısından önemli olan, bir integre şebekede trafik türleri açısından değil, bağlaşma teknikleri açısından bir çeşitliliğin olmasıdır. Yani integrasyon açısından genel bir terim olan hibrit trafik ile değil, bunun bir altkümesi olan hibrit bağlaşma ile ilgilenilir. Bu nedenle de ses ve veri integrasyonu için hibrit bağlaşmanın dışında tekniklerin kullanıldığı şebekeler, hibrit bağlaşmanın ve dolayısıyla bu çalışmanın konusu dışındadır.

2.3 ÇOĞULLAMA DÜZENİ

Hibrit bağlaşımlı sistemlerin hemen hemen tamamında çoğullama (integrasyon) yöntemi olarak "Senkron Zaman-Bölmeli Çoğullama (Time-Division Multiplexing, TDM)" tekniği kullanılır.

Şekil 2-1'de görülen böyle bir çoğullama düzeninin temel felsefesi, aynı iletim ortamı üzerinden iki farklı trafik grubunun birlikte çoğullanması ve böylece iletim ortamının kapasitesinin her iki trafik grubu arasında paylaşımının sağlanmasıdır.

Bir hibrit bağlaşımlı şebekedeki her bir düğüm bir TDM çoğullayıcısı içerir ve çoğullama işlemi düğümlerin bağlaşma fonksiyonları içersinde ele alınır. Eğer hibrit bağlaşma dağıtılmış (distributed) bir şebeke için kullanılıyorsa (örneğin Bus/Token-Ring LAN) bu çoğullama işlemi, çok amaçlı (farklı trafik grupları içeren) uçbirimlerinde yerine getirilir.



ŞEKİL 2-1 : Hibrit Bağlaşmalı Bir Sistemin Çoğullama Düzeni

2.3.1 ÇERÇEVE YAPISI

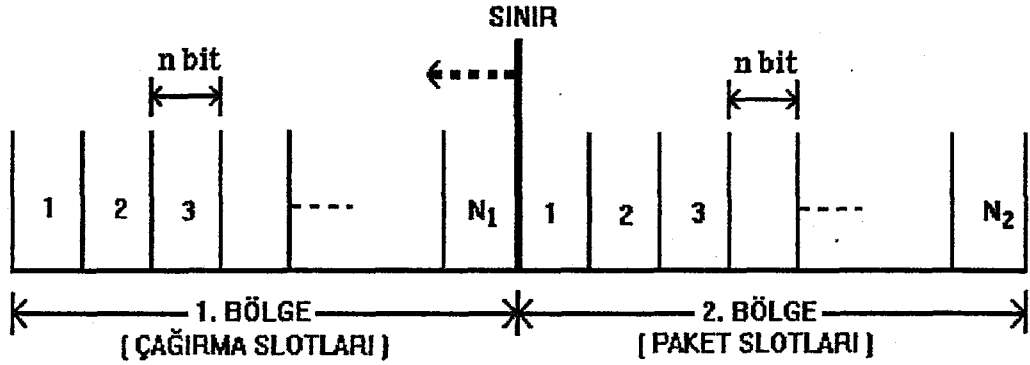
Hibrit bağlaşmalı sistemlerde iletim kapasitesinin iki farklı trafik grubu arasında paylaşımını sağlayan iki değişik çerçeve yapısı kullanılır.

1) Bir çerçevedeki toplam N tane slot, bir sınır aracılığıyla iki ayrı bölgeye ayrılır. Bunlardan 1. bölgeye ait olan N_1 tanesi çağırılara, geriye kalan 2. bölgeye ait N_2 tanesi ise paketlere tahsis edilir. Hareketli sınır durumu hariç her grup sadece kendi bölgesindeki slotları kullanabilir.

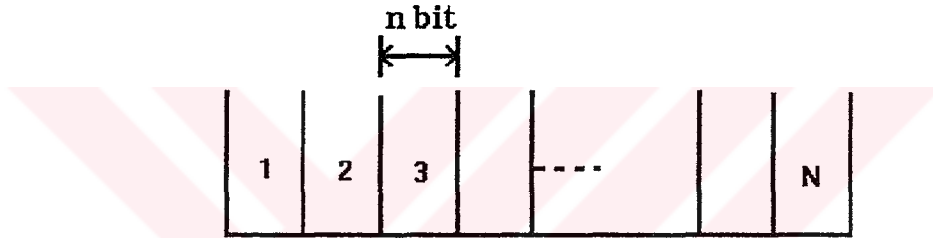
2) Çerçeve, iki ayrı bölge yerine bir bütün olarak ele alınır. Bu yapıda, bir çerçevedeki N tane slotun tamamı her iki grubun da kullanımına açıktır. Grupların belli bazı slotları kullanma zorunluluğu yoktur.

Sırasıyla Şekil 2-2.a ve Şekil 2-2.b'de görülen bu çerçeve yapıları arasında aslında temelde hiçbir fark yoktur. Her iki tip için de tamamen aynı olan çerçeve formatı, 1. yapıda bir sınırla iki ayrı bölgeye (alt çerçeveye) ayrılmakta; 2.yapıda ise böyle bir ayırım yapılmaksızın tüm çerçeve bir bütün olarak ele alınmaktadır. Her iki çerçeve yapısının da başlıca özellikleri :

1)Tüm TDM yapılarında olduğu gibi iletim, slot (zaman dilimi) denilen birimler üzerinden gerçekleştirilir. Art arda gelen slotlar, yapısal olarak birbirlerinin



ŞEKİL 2-2.a : 1. Yapıya İlişkin TDM Çerçeve Formatı



Şekil 2-2.b : 2. Yapıya İlişkin TDM Çerçeve Formatı

aynısı olan çerçeveler içersinde gruplandırılır.

2) Senkronizasyonu ve mesaj sürekliliğini daha kolay sağlayabilmek için çerçeve uzunluğu (süresi) sabittir (d saniye).

3) **Slot Boyutunun Seçimi** : Bir çerçevedeki i. slotun bit olarak uzunluğu n_i ve süresi e_i ; i. slotun sahibi olan kullanıcının hızı b_i ve iletim ortamının kapasitesi de c olmak üzere

$$n_i = b_i * d \quad \text{ve} \quad e_i = n_i / c \quad i=1,2,...,N \quad \text{şeklinde ifade edilebilir.}$$

d sabit olduğu için n_i sadece bu slotun sahibi olan kullanıcının hızına (b_i 'ye) bağlıdır. Bu durumda, kullanıcıların aynı hızda olup/olmaması slot boyutunu belirleyen tek kriterdir.

Bu çalışmada tüm kullanıcıların aynı hızda oldukları kabul edildiği için

i) 1. tip çerçeve yapısında çağrılara ayrılan N_1 tane slotun tamamının uzunlukları eşit (n_1 bit) ve paketlere ayrılan N_2 tane slotun da tamamının uzunlukları yine eşit (n_2 bit) olacaktır. Ayrıca tüm kullanıcılar aynı hızda olduğu için bir çerçevedeki tüm slotların uzunlukları da eşit olacaktır ($n=n_1=n_2$).

ii) 2. tip çerçeve yapısında ise bir çerçevedeki tüm slotlar eşit uzunlukta (n bit) olacaktır.

4) Slotların Gruplara Tahsisi : İki çerçeve yapısı arasındaki en belirgin fark slotların tahsisinde ortaya çıkmaktadır.

a) 1. tip çerçeve yapısı için çağrılar geliş sırasına göre (First Come First Service, FCFS), çerçeve süresinin (d 'nin) başında 1. bölgedeki kendilerine ait slotlara yerleştirilirler. Devre bağlaşma işaretçisi, çerçeve üzerinde daima ses trafiğinin sonunu gösterir. Çerçeveye yeni bir çağırma eklendiği zaman, işaretçi de ileri doğru kayar. Mevcut çağrılardan biri veya birkaçı sonlandığında ise bu çağrılara ait slotlardan sonraki slotlar, boşalan bölümü dolduracak şekilde işaretçi ile birlikte geriye doğru kayar.

Çağrılarının kendilerine ait slotları bu şekilde kullanımı hareketli sınır için daha uygundur. Çünkü devre bağlaşma işaretçili yukarıdaki yapıda, kullanılmayan çağırma slotları daima 1. bölgenin sınıra yakın tarafında kaldığı için sınırın 1. bölgeye doğru hareketiyle bu slotların paketler tarafından kullanılması mümkün olur. Sabit sınırdaki sınırın hareketiyle paket trafiğinin kazanacağı herhangi bir çağırma slotu olmadığı için devre bağlaşma işaretçili yukarıdaki yapının kullanılması zorunlu değildir.

Kuyrukta beklemekte olan paketler, kuyruk disiplinine göre çağrılarının yerleştirilmesi bittikten sonra kendilerine ait slotlara yerleştirilirler.

b) 2. tip çerçeve yapısında, bir çerçevedeki tüm slotlar her iki grubun da kullanımına açık olduğu için yukarıdaki gibi özel bir düzeneğin kullanımına haliyle gerek yoktur. Hizmete alınacak bir mesaj, çağırma veya paket olmasına bakılmaksızın doğrudan çerçeveye yerleştirilir.

Eğer 1. grup hizmetler farklı hızlarda ise bir devre bağlaşmalı kullanıcıya bir çerçevede birden fazla slot tahsis edilebilir. Bu çalışmada tüm devre bağlaşmalı hizmetlerin aynı hızda oldukları kabul edildiği için 1. ve 2. grup kullanıcıların her birine bir çerçevede tek bir slot tahsis edilmektedir.

Bir kere tahsis edilen slot, devre bağlaşmanın temel özelliğinden dolayı bağlantı sona erinceye kadar birbiri ardına gelen tüm çerçevelerde aynı kullanıcı tarafından kullanılır. Eğer bir kullanıcıya birden fazla slot tahsis edilmişse, bağlantı sona erdiği zaman bu slotların tamamı aynı anda serbest bırakılır.

Bir paketin hizmet süresinin bir çağırmanın meşguliyet süresine göre çok daha kısa olmasından dolayı, 2. gruba ait kullanıcılar için çerçeveden çerçeveye devamlı bir değişim sözkonusudur. Bu durumda, bir paketi iletmek için gereken çerçeve sayısı, bir çağırmayı iletmek için gerekenden çok daha azdır.

5) Her şeyden önce gelen çağırma ve paketleri birbirlerinden ayırt edebilmesi gereken Şekil 2-1'deki kontrol elemanının üç temel görevi vardır.

a) Gelen bir mesajın hizmete alınmasını sağlar. Eğer gelen bu mesaj hizmete alınamıyorsa, çağırmalar için blokaja ve paketler için de kuyruklamaya karar verir ve bunları yerine getirir.

b) 1. tip çerçeve yapısı için hareketli sınırın kullanımında, bu sınır düzeninin tüm işlevleriyle birlikte çalışmasını sağlar.

c) 2. tip çerçeve yapısı için trafik grupları arasında bir önceliğin olup/olmamasına göre kanalların tahsisini düzenler.

6) Hibrit bağlaşımda genelde kullanılan iki ayrı çerçeve formatı vardır. Bunların her ikisi için de sayısal iletim ortamı olarak 1,544 Mbit/sn kapasiteli T-1 taşıyıcısı veya buna eşdeğer olan ISDN'in $nB+D$ genişband arabağdaşımlarından $23B+D$ arabağdaşımı kullanılır.

1) Bir çerçeve süresi olarak çağrılmaların sayısallaştırma (örnekleme) periyodu seçilir. Bu durumda $d=1/8000=125\mu\text{sn}$ ve bir çerçevenin uzunluğu 193 bittir. $n_1=n_2=8$ bit alınır ve bir çerçevede $N=24$ tane slot bulunur (her çerçevedeki arta kalan 1 bit senkronizasyon için kullanılır). Bu format, her iki çerçeve yapısı için de uygundur.

2) Bir çerçeve süresi olarak 10 msn alınır (bir çerçevenin uzunluğu 15440 bit). Bu format için $n_2=5n_1$ 'dir. 1. bölgede her biri 80 bitlik $N_1=50$ tane slot, 2. bölgede her biri 400 bitlik $N_2=28$ tane slot ve bir çerçevede de toplam $N=79$ tane slot vardır (slotlardan biri işaretleşme için kullanılır). Buradaki 10 msn, çerçeve süresi olarak oldukça uzun bir süredir. Bu nedenle kullanıldığı sistemler için kabul edilebilir bir gecikme olmalıdır. Bu format, 1. tip çerçeve yapısı için daha uygundur.

Bu çalışmada, başlangıçtaki tüm kullanıcıların aynı hızda olması kabulüne, her iki çerçeve yapısı için de imkan vermesinden dolayı 1. seçenekteki çerçeve formatı kullanılmıştır.

2.3.2 SINIR

1. tip çerçeve yapısının en tipik özelliği olan sınır kavramını biraz daha detaylı olarak ele almakta fayda vardır. Sınırın hareketli veya sabit olmasına ve şayet hareketli ise hareketin şekline göre 4 farklı durum mevcuttur :

1) Sabit (Hareketsiz) Sınır (Fixed Boundary, FB).

2) Veri Trafiği Lehine Hareketli Sınır (Movable Boundary for Data, MBD).

- 3) Ses Trafiği Lehine Hareketli Sınır (Movable Boundary for Voice, MBV).
- 4) Her İki Yönde de Hareketli Sınır (Movable Boundary for Voice and Data, MBVD).

Hibrit bağlaşımlı sistemlere ilişkin performans modellerinde MBV ve MBVD hemen hemen hiç ele alınmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmada dahil bir çok çalışmada sadece hareketli sınır (MB) ile kastedilen aslında MBD'dır.

2.3.2.1 SABİT SINIR

Sınırın çerçeve içersindeki pozisyonu değişmez. Başlıca özellikleri :

- 1) Her grup sadece kendisine ait olan slotları kullanır. Yani çağrıların 2. bölgeden, paketlerin ise 1. bölgeden herhangi bir slotu kullanmaları söz konusu değildir.
- 2) 1. ve 2. bölgelerin içerdikleri slot sayıları (sınırın pozisyonu) tüm çerçeveler için aynıdır. Bu nedenle, toplam iletim kapasitesinin her iki gruba ayrılan bölümleri zamanla değişmez. İletim ortamı, birbirinden bağımsız iki tane alt bölüme ayrılmış gibi düşünülebilir. Sonuçta, iki grup arasında iletim kapasitesinin dinamik bir paylaşımı mevcut değildir.

2.3.2.2 HAREKETLİ SINIR

Sınırın çerçeve içersindeki pozisyonu sabit olmayıp, 1. bölgeye doğru (verinin lehine) bir harekete sahiptir. Başlıca özellikleri :

- 1) Çağrılar yine kendilerine ait slotları kullanırlar. Paketler ise kendilerine ait slotlara ilaveten, 1. bölgeye ait ve herhangi bir çağrıya tahsis edilmemiş (çağrılardan arta kalan) slotları da kullanırlar. Yani 2.bölgedeki N_2 tane slot sadece paketler tarafından kullanılırken, geriye kalan N_1 tane slot 1. ve 2.

grup arasında ortaklaşa kullanılmaktadır.

2) 1. ve 2. bölgelerdeki slot sayıları (sınırın yeri) sabit olmayıp, çerçeveden çerçeveye değişmektedir.

$N_1(t)$, $0 \leq N_1(t) \leq N_1$, t. çerçevede çağrılar tarafından kullanılan slot sayısı olmak üzere, bu çerçevede paketlerin kullanabileceği slot sayısı $N-N_1(t)$ tane olacaktır. Hareketli sınırda paketler en az $N_2=N-N_1$ tane yani başlangıçta kendilerine ayrılan kadar slot kullanabilirler.

3) Hareketli sınır, 1. grup için ihtiyaç fazlası slotların 2. grup tarafından kullanılmasına imkan verdiği için iki grup arasında iletim kapasitesinin (bir çerçevedeki slotların) dinamik bir şekilde paylaşımını sağlar. Böylece iletim ortamının kullanım verimi artar.

4) Çağrılar kendi slotlarını kullanan paketlere karşı kesmeli önceliğe sahiptirler. Yani bir paket 1. bölgeden bir slotu kullanırken ve çağrılara ait N_1 tane slotun tamamı dolu iken gelen bir çağrıya, paketin kullandığı slot derhal tahsis edilir ve paket de kuyruğa geri gönderilir. Bu nedenle, bu çalışmada ele alınan tüm hareketli sınır yapılarında çağırma trafiği, paket trafiğinden hiçbir şekilde etkilenmez. Yalnız buradaki çağrıların paketlere karşı olan kesmeli önceliği, bir çerçevedeki tüm slotlar için değil, sadece paketlerle ortak kullandıkları kendilerine ait N_1 tane slotun kullanımı için geçerlidir.

Çerçeve yapılarının sistem performansı üzerindeki etkileri, ileriki bölümlerde incelenen modellerden görülebilir. Bu çalışmada, 2.tip çerçeve yapısını kullanan (3.Bölüm) ve 1. tip çerçeve yapısı için yukarıda özellikleri verilen hareketli sınır düzenini kullanan (4.Bölüm) hibrit bağlaşma yapılarına ilişkin modeller incelenmiştir. Sabit sınırlı 1. tip çerçeve yapısıyla ilgili modeller, hibrit bağlaşma açısından pek bir esneklik sağlamadıkları için ele alınmamıştır.

2.4 SİSTEMİN GRUPLARA KARŞI DAVRANIŞI

Bu çalışmanın konusu performans modellemesi olduğu için sistemin gruplara karşı davranışı, sadece bu yönden incelenmiştir. İşe performans açısından yaklaşıldığında iki farklı durumla karşılaşılır.

1) Grupların 1. tip çerçeve yapısı için kendilerine ait kanallara, 2. tip çerçeve yapısı için ise mevcut kanallardan herhangi birine erişim imkanı bulamadıklarında ne yapılacağı (kuyruklama veya blokaj).

Ses ve veri farklı karakteristiklere ve kalite ölçütlerine sahip olduklarından, erişim imkanı bulunmadığında sistemin bunları farklı şekillerde ele alması beklenilir. Grupların bu ele alınış şekli, doğrudan doğruya çağırma ve veri trafiklerinin temel özelliklerine bağlıdır.

Ses bir gerçek zaman trafiğidir. Bu nedenle, gecikmelere karşı son derece hassastır ve kuyruklanmaya uygun değildir. Öte yandan veri trafiği bir gerçek zaman trafiği olmadığı için makul ölçülerde gecikmelere katlanabilir.

Buradan hareketle, hibrit bağlaşmalı bir sistemde erişim imkanı bulamadıklarında yani geldikleri anda kullanabilecekleri kanalların tamamının dolu olması durumunda çağrılar bloke edilmekte; paketler ise kuyruklanmaktadır. Başka bir deyişle, çağırma trafiği kayıplı (lost basis), veri trafiği ise gecikmeli (delay basis) bir temelde ele alınmaktadır. Blokaj ve kuyruklamaya kontrol elemanı karar vermekte ve yerine getirmektedir.

Veri kuyruğunun kapasitesi ve hizmet disiplini konusunda bir sınırlama olmamakla birlikte, hibrit bağlaşmalı sistemlerin çoğunda sonsuz kapasiteli ve FIFO (First In First Out) hizmet disiplinli veri kuyruğu kullanılmaktadır.

2) 2. tip çerçeve yapısı için kontrol elemanının kanalları tahsisinde, gruplar arasında bir önceliğin olup/olmaması.

Sistemin ihtiyacına göre belirlenen bu durum için ya çağrılar önceliklidir ya da gruplar arasında herhangi bir öncelik yoktur (First Come First Service, FCFS). Sesin veriye göre gecikmeye karşı daha duyarlı olduğu gözönüne alınırsa, çağrıların öncelikli olması daha uygun bir durumdur.

2. tip çerçeve yapısının kullanıldığı hibrit bağlama yapılarında önceliğin olup/olmaması, gruplar arasındaki karşılıklı etkileşim üzerinde doğrudan rol oynayacağı için çağırma trafiğinin modellenmesinde ilk yola çıkış noktasını oluşturmaktadır. Şöyle ki, herhangi bir önceliğin olmadığı durumda (FCFS'de) her iki grup da birbirinden etkilenecektir. Oysa çağırma öncelikli durumda çağırma trafiği, veri trafiğinden hiç etkilenmeyeceği için sanki tek başınaymış gibi modellenenebilir.

2.5 SİSTEMİN EN ÖNEMLİ PERFORMANS PARAMETRELERİ

Bir hibrit bağlamalı sistemde çağrılar bloke edildiğine ve paketler de kuyruklandığına göre, sistemin en önemli iki performans parametresi şunlardır:

- 1) Çağrıların Blokaç Olasılığı, P_B .
- 2) Tüm sistem için Paketlerin Ortalama Zaman Gecikmesi, $E(T)$, veya Paketlerin Ortalama Kuyrukta Bekleme Süresi, $E(W)$.

Devre bağlama gerektiren hizmetler farklı hızlarda ise her bir hizmet için P_B 'nin ayrı olarak hesaplanması gerekir. Ayrıca eğer paket kuyruğunun kapasitesi sınırlı ise kuyruğun taşma ve paket kayıp olasılıkları da bulunmalıdır.

Bu çalışmada ele alınan tüm modellerde yapılan analizler için amaç, P_B ve $E(T)$ 'yi veren ifadeleri elde etmektir. Daha sonraki tüm karşılaştırma ve yorumlar bu iki ifade üzerinde yapılacaktır.

2.6 ANALİZLER İÇİN ZAMAN DOMENİ SEÇİMİ

Bölüm 2.3.1'deki TDM çerçeve yapılarını kullanan hibrit bağlaşmalı sistemlere ilişkin modellerde analizler, iki farklı zaman domeninde yapılır.

1) Ayrık-Zaman Analizi : Analizlerde slot kavramı (yapısı) açıkça belirtilir.

2) Sürekli-Zaman Analizi : Bir TDM çerçevesi ayrık slotların bir grubu olarak ele alınmaz. Bunun yerine, d saniye arayla gelen her çerçevenin aynı numaralı slotlarının bir kanal oluşturduğu kabul edilir ve analizler de buna göre yapılır. Ayrık-zamandaki slot kavramının yerini bu domende yapılan analizlerde kanal kavramı almıştır.

Sürekli-zaman analizlerinin geçerliliği için tek koşul, bir çerçevenin süresinin hem çağırma ve hem de paketlerin hizmet süreleri yanında ihmal edilebilecek ölçüde küçük olmasıdır.

Bu çalışmada sürekli-zaman analizleri kullanılmıştır. Çünkü ele alınan TDM çerçeve formatındaki bir çerçevenin $125\mu\text{sn}$ 'lik süresi, dakikalar mertebesinde olan çağırımların meşguliyet süreleri yanında rahatlıkla ihmal edilebilir. Paketler için ortalama uzunluk 1200 bittir ve bir paketin iletim için 150 tane çerçeve gerekir. $d=125\mu\text{sn}$, bir paketin hizmet süresi olan $150 \times 125 \mu\text{sn} = 18,75 \text{ msn}$ yanında da yine ihmal edilebilir. Sonuç olarak, d saniye arayla gelen 8 bitlik bölümler arasındaki süre ($125\mu\text{sn}$) ihmal edilip, bu 8 bitlik bölümlerin birbiri ardına sıralandığı kabul edilebilir.

Bu çalışmada ele alınan TDM çerçeve formatına göre, sürekli-zaman için 1,544 Mbit/sn olan toplam kanal kapasitesi, birbirleriyle paralel olarak çalışan $N=24$ tane (bir çerçevedeki slot sayısı kadar) altkanala ayrılmıştır. Bir çerçevedeki tüm slotlar eşit uzunlukta (8 bit) oldukları için bu 24 kanalın da hepsi 64 kbit/sn kapasitede olacaktır.

TDM çerçeve yapısındaki farklılık (sınırın olup/olmaması), sürekli zamanda doğrudan kanalların kullanım şeklini belirler. Buna göre, 1. tip çerçeve yapısı kullanıldığında toplam N tane kanaldan N_1 tanesi çağırmalara, N_2 tanesi de paketlere tahsis edilir. Sınırın olmadığı 2. tip çerçeve yapısı için ise bu N tane kanalın tamamı her iki grubun da kullanımına açıktır.

2.7 SÜREKLİ ZAMAN ANALİZLERİ

Hibrit bağlaşımlı sistemlere ilişkin geliştirilen modellerde analizler, sistemin en önemli iki performans parametresi olan P_B ve $E(T)$ 'yi veren matematiksel ifadeleri elde etmek için yapılır.

2.7.1 MODELLERDE KULLANILAN ANALİZ YÖTEMLERİ

Kullanılan analiz yöntemlerine geçmeden önce bunlardan herhangi birine gerçekten ihtiyaç olup/olmadığını belirlemek gerekir. Şöyle ki;

1) a) 1. tip çerçeve yapısı için sabit sınırdaki her iki grup da birbirinden; hareketli sınırdaki ise çağırma trafiği, paket trafiğinden etkilenmez.

b) 2. tip çerçeve yapısı için çağırma trafiğinin öncelikli olması durumunda ses trafiği, paket trafiğinden etkilenmez.

Bu durumlar için bu bölümde belirtilen çözüm yollarının kullanımına gerek yoktur. Çünkü diğer gruptan etkilenmeyen gruba ait trafik, sanki tek başınaymış gibi modellenerek bu gruba ait performans parametresi bulunabilir.

2) a) 1. tip çerçeve yapısı için hareketli sınırın kullanımında paket trafiği, çağırma trafiğinden etkilenir.

b) 2. tip çerçeve yapısı için kanalların trafik gruplarına tahsisinde herhangi bir öncelik yoksa (FCFS) her iki grup da birbirinden; çağırma öncelikli

durum için ise paket trafiği, ses trafiğinden etkilenecektir.

İşte böyle bir etkileşim söz konusu ise aşağıda belirtilen yöntemlerden herhangi birinin kullanımına ihtiyaç vardır.

Yukarıdaki açıklamalardan da görüldüğü gibi -bu çalışmada incelenenler de dahil olmak üzere- hibrit bağlaşmalı sistemlerin çoğunda sadece paket trafiği, çağırma trafiğinden etkilenir. O halde, çoğunlukla P_B hibrit sistemin çağırma eşdeğeri olan ayrı yapıya göre değişmezken, $E(T)$ aşağıdaki üç yöntemden biri ile bulunur.

1) **Tam (Exact) Analiz** : Başlangıçta hiçbir varsayım veya kabulde bulunulmaksızın analizler doğrudan sistemin gerçek çalışmasına göre yapılır. Bu yöntem ancak az sayıda kanal ($N=1$ veya $N=2$) şartı altında geçerlidir. Çünkü çok sayıda kanal olması durumunda, hiçbir yaklaşımda bulunmadan doğrudan sayısal sonuçları elde etmek oldukça zordur.

2) **Yaklaşık (Approximative) Analiz** : Başlangıçta sistemin yapısına, trafik gruplarının genel davranışlarına veya analizlerin gerçekleştirildiği çalışma koşullarına uygun bir takım varsayımlar (yaklaşımlar) yapılır ve analizler bu yaklaşımlar altında gerçekleştirilir.

Bu yöntem için kanal sayısı ile ilgili herhangi bir sınırlama yoktur. Bu nedenle de aksi belirtilmedikçe bu yöntem, çok sayıda kanal için kullanılır. En sık karşılaşılan yaklaşık analiz yöntemleri şunlardır :

a) **Akış Yaklaşımı (Fluid-Flow Approximation)** : Uygulamada da geçerliliği olan çağırma meşguliyet sürelerinin, paketlerin hizmet sürelerinden çok daha uzun olduğu durumlarda tercih edilen bir yöntemdir. Bu nedenle, akış yaklaşımı daha ziyade paket kuyruğundaki yığılmaların arttığı aşırı-yük bölgesi için kullanılır.

b) **Yarı-Statik Yaklaşım (Quasi-Static Approximation)** : Çeşitli varsayımlar altında, her iki grubun da birbirine etkisinin ihmal edilmesi esasına dayanan bir yaklaşım yöntemidir.

Ayrıca difüzyon ve analiz (decomposition) yaklaşımları da kullanılır.

3) **Simülasyon** : Veri trafiğindeki dalgalanmalar çağırma trafiğine göre çok daha fazla olduğu için kararlı duruma ulaşıncaya kadar bilgisayar başında oldukça uzun bir süre harcamak gerekir. Genelde λ_1 ve λ_2 'nin nispeten düşük olduğu durumlarda kullanılır.

Aslında bu yöntemlerin hepsi aynı noktadan yola çıkmaktadır. İki trafik arasındaki etkileşim, doğrudan sayısal çözümleri çok karmaşık bir hale getirmektedir. Bunun için ya hiçbir varsayımda bulunmadan az sayıda kanala göre ya da kanal sayısını kısıtlamadan çeşitli yaklaşımlara göre analizler yapılır.

Bu çalışmada, Bölüm 3.1.2'dekiler hariç tüm analizler sadece $E(T)$ 'yi bulmak için yapılmıştır. Bu amaçla yapılan analizlerin hemen hemen tamamında "Az Sayıda Kanal İçin Tam Analiz" yöntemi kullanılmıştır. Sadece Bölüm 4.3'te yaklaşık analizlerden yararlanılmıştır.

2.7.2 TAM ANALİZ YÖNTEMİ

Bu çalışmada incelenen modellerde çok sık karşılaşılan az sayıda kanal için tam analiz yöntemi, uygulamada geçerliliği pek olmadığından ilk bakışta uygun bir çözüm yolu olarak gözükmeyebilir. Ancak bu yöntemin kullanılmasının bir takım avantajları vardır. Bunların başlıcaları :

1) P_B ve $E(T)$, en kolay ve anlaşılabilir şekilde bu metotla bulunur. Çözüm yolu her iki çerçeve yapısı için de genel olarak şu aşamalardan oluşur :

a) Kararlı durum için iki boyutlu durum diyagramının elde edilmesi.

b) Bu diyagramdan denge ve sınır denklemlerinin yazılması.

c) Denge denklemlerin yinelemeli (recursive) yollarla veya genelde bu mümkün olmadığından moment üreten fonksiyonlar yardımıyla çözülmesi.

2) Elde edilen P_B ve $E(T)$ ifadeleri kısa ve anlaşılması kolaydır. Böylece bu iki ifadenin yorumlanması sonucu, şu durumlar rahatlıkla incelenebilir :

a) İki grubun birbirinin performansları üzerindeki etkisi.

b) Her bir grubun performansının eşdeğeri olan ayrı yapıyla karşılaştırılması sonucu, hibrit bağlaşmanın grupların performansları üzerindeki etkisi (hibrit bağlaşmalı bir sistemde, bir grubun eşdeğeri olan ayrı yapı, o grup tek başına (diğer grup yok) farzedilerek bulunur).

c) P_B ve $E(T)$ 'nin doğru olup/olmadığının kontrolü.

3) Bu yöntem kullanılarak bulunan P_B ve $E(T)$ 'ye göre yapılan yorumlar, sadece kanal sayısının az olması gibi özel bir durum için değil, tamamen aynı özelliklerdeki sistemin kanal sayısı birbirinden farklı her hali için aynen geçerlidir. Yani yapılan yorumlar kanal sayısından bağımsızdır.

4) Pek çok kez bu yöntemle bulunan P_B ve $E(T)$ ifadeleri, çok sayıda kanal için yapılan yaklaşık analizlere referans teşkil etmektedir. Bu yöntemle bulunan P_B ve $E(T)$ 'den yararlanarak çok sayıda kanal için yaklaşık analizlerde bulunmak, doğrudan işe başlamaya göre basitliğe yol açmaktadır.

Bu çalışmadaki tüm modeller şu sıraya göre ele alınmıştır :

1) O modelin sadece kendisine ait olan özelliklerinin belirtilmesi.

2) Tam analiz yöntemi için yukarıdaki 1. seçenekte belirtilen adımların takip edilmesiyle; yaklaşık analiz yöntemi için ise başlangıçta yapılan varsayımlar altında P_B ve $E(T)$ 'yi veren matematiksel ifadelerin elde edilmesi.

3) Başta P_B ve $E(T)$ olmak üzere sistemin önemli parametrelerinin doğruluklarının sınanması. Bu amaçla, hibrit sistem için bulunan ifadeler, ele alınan yapının 1. ve 2. grup eşdeğeri veya limit durumları için bulunan karşılıklarına göre kontrol edilir.

4) Eşdeğer ayrı sistemlerle ve diğer modellerle karşılaştırma yapmak; iki grubun birbirinin performansı üzerindeki etkisini görmek ve hibrit sistemin performansını iyileştirme yolları önermek için bulunan P_B ve $E(T)$ 'nin yorumlanması.

2.8 MODELLERİN ORTAK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada incelenen modellerin tümü, en çok karşılaşılan hibrit bağlama düzeni olan SENET'e ilişkindir. Şimdiye kadar anlatılanları bir araya toplayarak, bu çalışmada ele alınan modellerin ait oldukları SENET tipi hibrit bağlamalı sistemlerin tamamı için geçerli olan ortak özellikler şu şekilde sıralanabilir :

1) a) Bağlama şekillerine göre ayrılan iki farklı trafik grubu vardır :

1. Grup : Devre Bağlamalı Trafik (Çağrılar)

2. Grup : Paket Bağlamalı Trafik (Paketler)

b) Tüm hizmetler aynı hızdadır. Bu durumda 1. gruptan çağrılar; 2. gruptan da paketler olarak bahsedilebilir.

2) Kullanılan çoğullama metodu Tek Slotlu Senkron TDM'dir.

a) Çerçeve süresi (uzunluğu) sabittir ($125\mu s$; 193 bit).

b) Bir çerçevedeki tüm slotların uzunlukları eşittir ($n=n_1=n_2=8$ bit).

3) Erişim imkanı elde edemediklerinde 1.grup (çağrılar) bloke edilir; 2.grup (paketler) ise ortak bir kuyruğa alınır.

4) Sistemin en önemli performans parametreleri, 1.grup için çağrımaların blokaj olasılığı, P_B , ve 2.grup için de bir paketin tüm sistemdeki ortalama zaman gecikmesidir, $E(T)$. Yapılan tüm analizlerin amacı, bu iki büyüklüğe ilişkin matematiksel ifadeleri bulmaktır.

5) Tüm iletim ve bağlaşma fonksiyonları sayısaldır.

6) Sonsuz kapasiteli olan paket kuyruğu için hizmet disiplini FIFO'dur.

7) Tüm analizler sürekli zamanda yapılmıştır. Bu durumda, birbirleriyle paralel olarak çalışan tümü 64 kbit/sn kapasiteli toplam $N=24$ tane kanal vardır.

8) Çağırma ve paket trafikleri için gelişler sırasıyla λ_1 ve λ_2 hızlarıyla Poisson Dağılımı'na; yine sırasıyla $1/\mu_1$ ve $1/\mu_2$ olan meşguliyet süreleri ise Negatif Eksponansiyel Dağılım'a sahiptirler.

9) Analizler sistemin kararlı durumu için yapıldığından stasyonerlik mevcut olup, tüm olasılık ifadeleri zamandan bağımsızdır

SENET, hibrit bağlaşmayla ilgili temel yaklaşımları bünyesinde barındırdığı için bu alandaki çalışmalarda çok sık karşılaşılan bir kavramdır. Bu nedenle yukarıdaki özellikler, hibrit bağlaşmayla ilgili modellerin çoğu için aynen veya küçük farklarla geçerlidir. Bununla birlikte değişken uzunlukta çerçevelerin kullanıldığı; çağrımaların da kuyruklandığı ve sınır hareketinin çağrımalar lehine olduğu, v.b. SENET tipi olmayan modeller de mevcuttur.

Yukarıdaki özelliklere ilaveten her modelin sadece kendisine ait olan özellikleri ise ileriki bölümlerde yeri geldikçe verilmiştir.

BÖLÜM 3

2. TİP ÇERÇEVE YAPISINA AİT MODELLER

Bu bölümde, tek kanallı hibrit bağlaşmalı bir sistemin farklı trafik gruplarını ele alışıında, FCFS (First Come First Service) disiplininin kullanıldığı ve çağır-maların öncelikli olduğu iki ayrı model incelenmiştir. Bölüm 2.8'dekilere ilaveten her iki model için geçerli olan özellikler :

- 1) 2. tip çerçeve yapısı kullanılmıştır.
- 2) Analizlerde tek bir kanal ($N=1$) için tam analiz yönteminden, denge denklemlerinin çözümünde ise yinelemeli yollardan ve moment üreten fonksiyonlardan yararlanılmıştır.
- 3) Bu bölümde ele alınan modellerin uygulandığı hibrit bağlaşmalı yapının eşdeğerleri, çağırma trafiği için tek hizmet organlı Erlang-B ve paket trafiği için M/M/1 yapılarıdır. Tüm kontroller ve eşdeğer ayrı sistemlere göre karşılaştırmalar, bu iki yapıya göre yapılmıştır.

3.1 FCFS MODELİ

3.1.1 MODELİN ÖZELLİKLERİ

- 1) Kanal, kullanıcılara hangi gruptan olurlarsa olsunlar geliş sıralarına göre tahsis edilir.
- 2) Mevcut kanal meşgul iken gelen çağırmlar bloke edilmekte; paketler ise kuyruğa alınmaktadırlar.

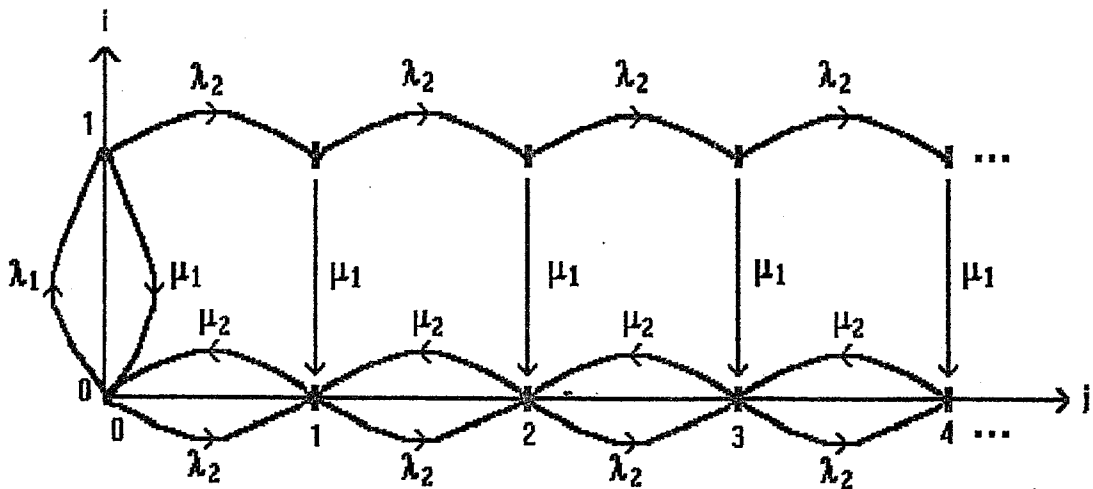
3.1.2 DURUM DİYAGRAMI VE ANALİZLER

Bu modelde ele alınan hibrit bağlaşmalı yapıya ilişkin iki boyutlu durum diyagramı Şekil 3-1’de görülmektedir.

Şekildeki düşey eksen sistemdeki çağırma sayısını (i) ve yatay eksen de paket sayısını (j) göstermektedir. Toplam $N=1$ kanal olduğu ve çağırımlar bloke edildiği için $i=0,1$; paketler sonsuz kapasiteli bir kuyruğa alındığı için $j=0,1,2,\dots$ olabilir. Durum diyagramından elde edilen ve P_B ile $E(T)$ 'nin bulunmasında çok sık kullanılan iki boyutlu durum olasılıkları (P_{ij} 'ler), sistemde i tane çağırma ve j tane paket olması olasılığı olarak tanımlanabilirler.

Bu durum diyagramındaki geçişler şu şekilde açıklanabilir (diyagramdaki durumlar (i,j) notasyonuna göre verilmiştir) :

- 1) Bir çağırmanın hizmet gördüğü sistemin $i=1$ durumu için iki tür geçiş söz konusudur. Ya hizmet gören çağırmanın işi μ_1 hızıyla tamamlanır ve $(0,j)$ durumuna geçilir (dikey geçişler); ya da bu çağırma hizmetteyken λ_2 hızıyla gelen bir paket kuyruğa alınır ve $(1,j+1)$ durumuna geçilir (yatay geçişler).



ŞEKİL 3-1 : FCFS İçin Durum Diyagramı

2) Sistem $i=0$ durumunda ve $j \geq 1$ ise bir paket hizmet görüyor demektir. Bu durum için de yine iki tür geçiş söz konusudur. Ya hizmet gören paketin işi μ_2 hızıyla tamamlanır ve $(0, j-1)$ durumuna geçilir; ya da bu paket hizmetteyken λ_2 hızıyla gelen başka bir paket kuyruğa alınır ve $(0, j+1)$ durumuna geçilir. Her iki geçiş için de hareket yatay eksen ($i=0$) boyuncadır.

3) Sistem $(0,0)$ durumundayken λ_1 hızıyla bir çağırma gelirse $(1,0)$; λ_2 hızıyla bir paket gelirse $(0,1)$ durumuna geçilir.

4) $(0,0)$ durumu hariç, λ_1 hızıyla gelen çağırımlar bloke edileceği için diyagramda λ_1 'li geçişler yoktur.

$\sum$ Girenler = $\sum$ Çıkanlar olacak şekilde, $i=0$ ve $i=1$ için iki takım halinde denge denklemleri ($j \geq 1$) ve sınır denklemleri ($j=0$) şu şekilde yazılabilir :

$i=0$ için

$$(\lambda_1 + \lambda_2) P_{00} = \mu_1 P_{10} + \mu_2 P_{01} \quad , j=0 \quad (3.1)$$

$$(\lambda_2 + \mu_2) P_{0j} = \mu_1 P_{1j} + \lambda_2 P_{0,j-1} + \mu_2 P_{0,j+1} \quad , j \geq 1 \quad (3.2)$$

$i=1$ için

$$(\mu_1 + \lambda_2) P_{10} = \lambda_1 P_{00} \quad , j=0 \quad (3.3)$$

$$(\mu_1 + \lambda_2) P_{1j} = \lambda_2 P_{1,j-1} \quad , j \geq 1 \quad (3.4)$$

$\rho_1 = \lambda_1 / \mu_1$; $\rho_2 = \lambda_2 / \mu_2$ ve $\alpha = (1/\mu_1) / (1/\mu_2) = \mu_2 / \mu_1$ (α : Çağırımların Meşguliyet Sürelerinin Paketlerinkine Oranı) olmak üzere, bundan sonra bulunacak tüm ifadeler sadece bu üç terimin birer fonksiyonu olacaktır.

(3.3)'den P_{10} , P_{00} cinsinden şu şekilde elde edilir :

$$P_{10} = \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_2} P_{00} = \frac{\rho_1}{1 + \alpha \rho_2} P_{00} \quad (3.5)$$

Bu P_{10} değeri, (3.1)'de yerine konulursa bu sefer de P_{01} , P_{00} cinsinden

$$P_{01} = \rho_2 \left(1 + \frac{\rho_1}{1 + \alpha \rho_2} \right) P_{00} \quad \text{olarak bulunur.} \quad (3.6)$$

(3.4)'de P_{0j} 'li terim olmadığı için bu denge denklemi yinelemeli yoldan çözülebilir. (3.5)'in de bu çözümde yerine konmasıyla P_{1j} şu şekilde bulunur :

$$P_{1j} = \left(\frac{\alpha \rho_2}{1 + \alpha \rho_2} \right)^j P_{10} = \left(\frac{\alpha \rho_2}{1 + \alpha \rho_2} \right)^j \left(\frac{\rho_1}{1 + \alpha \rho_2} \right) P_{00} \quad (3.7)$$

(3.2)'deki $i=0$ durumunu $i=1$ durumuna bağlayan $\mu_1 P_{1j}$ teriminden dolayı P_{0j} , P_{1j} ile aynı yoldan (yinelemeli şekilde) bulunamaz. O halde P_{0j} 'nin bulunmasında moment üreten fonksiyonlardan yararlanılır.

Hem $G_0(z)$ 'nin ve hem de ileride P_{00} 'ın bulunması için gereken (3.7)'deki P_{1j} ifadesinin z dönüşümü, moment üreten fonksiyonların 3-a özelliğinden de yararlanılarak şu şekilde bulunur :

$$\sum_{j=1}^{\infty} P_{1j} z^j = \frac{\alpha \rho_1 \rho_2 z}{(1 + \alpha \rho_2)[1 - \alpha \rho_2(z-1)]} P_{00} \quad (3.8)$$

(3.2)'deki denge denkleminde tüm terimler z^j ile çarpılıp, $j \geq 1$ için toplam alındığında ve $G_1(z)$ 'nin 3-a,b,c özellikleri ile yukarıdaki (3.6) ve (3.8) ifadeleri bu toplamda yerine konulup gerekli sadeleştirmeler yapıldığında, P_{0j} olasılıklarına ilişkin moment üreten fonksiyon olan $G_0(z)$

$$G_0(z) = \frac{1 + \frac{\rho_1 \rho_2 z}{1 - \alpha \rho_2(z-1)}}{1 - \rho_2 z} P_{00} \quad \text{olarak elde edilir.} \quad (3.9)$$

Geriye bir tek sistemde hiç bir çağırma ve paket olmaması (sistemin boş olması) olasılığı olan P_{00} 'ın bulunması kalmıştır. Bunun için moment üreten fonksiyonların 2-a özelliğine göre yazılan

$$G_0(1) + \sum_{j=0}^{\infty} P_{1j} = 1 \quad \text{eşitliğinden yararlanılır.} \quad (3.10)$$

$$z=1 \text{ için (3.9)'dan } G_0(1) = \sum_{j=0}^{\infty} P_{0j} = \frac{1 + \rho_1 \rho_2}{1 - \rho_2} P_{00} \quad (3.11)$$

$$z=1 \text{ için (3.8)'den } \sum_{j=1}^{\infty} P_{1j} = \frac{\alpha \rho_1 \rho_2}{1 + \alpha \rho_2} P_{00} \quad (3.12)$$

$\sum_{j=0}^{\infty} P_{1j} = P_{10} + \sum_{j=1}^{\infty} P_{1j}$ ifadesinde (3.5) ve (3.12) yerlerine konulursa

$$\sum_{j=0}^{\infty} P_{1j} = \rho_1 P_{00} \quad \text{olarak elde edilir.} \quad (3.13)$$

(3.11) ve (3.13), (3.10)'da yerlerine konulduğunda

$$P_{00} = \frac{1 - \rho_2}{1 + \rho_1} \quad \text{olarak bulunur.} \quad (3.14)$$

Artık bu hibrit sistemin en önemli performans parametreleri bulunabilir.

1) Çağrımaların Blokaj Olasılığı, P_B :

Sistemde en az 1 tane hizmet gören çağırma veya paket varsa çağrımalar için blokaj gerçekleşecektir. Yani çağrımaların blokaj olasılığı (P_B), sistemde en az bir tane bulunan olması olasılığına ($1 - P_{00}$) eşit olacaktır.

$$P_B = 1 - P_{00} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{1 + \rho_1} \quad (3.15)$$

2) Paketlerin Ortalama Zaman Gecikmesi, $E(T)$:

İlk önce sistemdeki ortalama paket sayısı olan $E(j)$ 'yi hesaplayalım. Bunun için moment üreten fonksiyonların 4. özelliğine göre yazılan

$$E(j) = G_0'(1) + \sum_{j=0}^{\infty} j P_{1j} \quad \text{eşitliğinden yararlanılır.} \quad (3.16)$$

$$(3.9)'dan \quad G_0'(1) = \frac{\rho_2}{1-\rho_2} + \frac{\alpha\rho_1\rho_2^2}{1+\rho_1} \quad (3.17)$$

$$d/dz \sum_{j=1}^{\infty} P_{1j} z^j \Big|_{z=1} = \sum_{j=1}^{\infty} j P_{1j} = \sum_{j=0}^{\infty} j P_{1j} \quad (3.18)$$

Bu özellik (3.8)'e uygulanıp, (3.14)'deki P_{00} 'da yerine yazıldığında (3.16)'nın 2. terimi

$$\sum_{j=0}^{\infty} j P_{1j} = \alpha\rho_1\rho_2 \left(\frac{1-\rho_2}{1+\rho_1} \right) \quad \text{şeklinde elde edilir.} \quad (3.19)$$

(3.17) ve (3.19), (3.16)'da yerlerine konulursa

$$E(j) = \frac{\rho_2}{1-\rho_2} + \frac{\alpha\rho_1\rho_2}{1+\rho_1} \quad (3.20)$$

$E(j)$ 'den yararlanarak normalize zaman gecikmesi olan $\mu_2 E(T)$ 'yi bulmak daha kolaydır. Bu nedenle paket performansı üzerine yorumlar hep $\mu_2 E(T)$ 'ye göre yapılacaktır. Little Formülü' nü kullanarak bir pakete ilişkin tüm sistemdeki normalize zaman gecikmesi şu şekilde elde edilir :

$$\mu_2 E(T) = \mu_2 \frac{E(j)}{\lambda_2} = \frac{E(j)}{\rho_2} = \frac{1}{1-\rho_2} + \frac{\alpha\rho_1}{1+\rho_1} \quad (3.21)$$

3.1.3 KONTROLLER

1) $\rho_1=0$ için (3.9)'daki $G_0(z)$ ifadesi, $G_0(z) = \frac{1}{1-\rho_2 z} P_{00}$

halini alır ki bu da M/M/1 için bulunan (A.18) ifadesine özdeştir.

2) $\rho_1=0$ için (3.14)'deki P_{00} ifadesi, $P_{00}=1-\rho_2$ değerini alır. Bu da M/M/1 için bulunan (A.19)'daki P_0 a özdeştir.

3) $\rho_2=0$ için (3.15)'deki P_B ifadesi, $P_B = \frac{\rho_1}{1+\rho_1}$ halini alır. Bu ifade de

tek hizmet organlı blokajlı hal için Erlang-B formülüdür.

4) $\rho_1=0$ için (3.20)'den $E(j) = \frac{\rho_2}{1-\rho_2}$ bulunur ki bu da M/M/1 için bulunan (A.21) ifadesine özdeştir.

5) $\rho_1=0$ için (3.21)'deki $\mu_2 E(T)$ ifadesi, $\mu_2 E(T) = \frac{1}{1-\rho_2}$ halini alır. Bu da M/M/1 için bulunan (A.22)'deki ifadeye özdeştir.

3.1.4 SONUÇLAR

1) Çağrımaların Blokaj Olasılığı, P_B :

P_B ; tek hizmet organlı ayrı bir blokajlı sisteme göre doğrudan 2. gruba ait trafik miktarı (ρ_2) ile orantılı bir şekilde artmıştır. Bunun nedeni, aynı ρ_1 'li ayrı bir sisteme göre, mevcut kanalı yakalamak için yarışanların sayısındaki artıştan dolayı çağrımaların ortak kanalı yakalama olasılığının azalmasıdır.

Eşdeğer ayrı sisteme göre P_B 'nin artmasına neden olan 2. grubun 1. grup üzerindeki etkisini (dolayısıyla P_B 'yi) azaltmanın tek yolu, ρ_2 'nin ρ_1 'e göre nispeten küçük olmasıdır.

P_B 'yi tümünden azaltmanın esas olarak tek yolu ise sistemin tüm trafiğinin yani ρ_1 ve ρ_2 'nin birlikte düşük olmasıdır.

2) Paketlerin Normalize Zaman Gecikmesi, $\mu_2 E(T)$:

$\mu_2 E(T)$, M/M/1'e göre artmıştır. (3.21)'deki 2. terim bu artışın şeklini göstermektedir. Ayrı sistemde tek başlarına olan paketlere, hibrit bağlaşımlı sistemde ortak kanalın kullanımı için yarışan çağrılar da eklendiği için $\mu_2 E(T)$ 'de eşdeğer ayrı sisteme göre gözlenen bu artış doğal bir sonuçtur.

$\mu_2 E(T)$ 'yi azaltmak için ilk akla gelen yol $\rho_1 < \rho_2$ olmasıdır. Ancak bu durum, (3.21)'in 2. terimindeki α dan dolayı çağırımlar için blokaj olmasına rağmen yine de yeterli olmaz. Çünkü gerçekte bir çağırma birkaç dakika sürerken, bir paketin hizmet süresi ise sadece msn'ler mertebesinde. Yani

$$\alpha = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{1/\mu_1}{1/\mu_2} \gg 1 \text{ olur.}$$

Bu durumda ne kadar $\rho_1 < \rho_2$ olursa olsun α , $\mu_2 E(T)$ ifadesinin payında olduğu için eşdeğer ayrı sisteme göre $\mu_2 E(T)$ önemli ölçüde artacaktır. Başka bir deyişle, $\mu_2 E(T)$ çağırımların meşguliyet sürelerine kuvvetli bir bağımlılık gösterecek ve bu bağımlılığın paket performansı üzerinde yol açtığı olumsuz etkiyi giderip, $\mu_2 E(T)$ 'yi iyileştirmek pek mümkün olmayacaktır.

Paket performansı açısından tek olumlu sonuç, (3.21)'deki 1. terimin paydasından gelen ve $\rho_2 < 1$ olan kuyruğun denge koşulunun çağırma trafiğinden etkilenmemesidir (ρ_1 'den bağımsız olmasıdır).

Sonuçta, bu modelde her iki grup da birbirinin performansını olumsuz bir şekilde etkilediği için başta $\mu_2 E(T)$ olmak üzere, P_B ve $\mu_2 E(T)$ 'nin her ikisi de eşdeğer ayrı sistemlere göre daha kötüye gitmektedir (artmaktadır).

Bu durumda akla “ Mademki her iki grup da birbirinin performansını olumsuz bir şekilde etkiliyor, öyleyse hibrit bağlaşıma ne gerek vardı?” gibi bir soru gelebilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, sadece iki grubun birbirinin performansını nasıl etkilediğini kolayca görebilmek için seçilen bu ilk modeldeki yapının, hibrit bağlaşıma ilgili en esnek (verimli) olmayan yapı olmasıdır. Sayısal çözümlerin basitliği için $N=1$ olarak seçilen kanal sayısını arttırmak, sistem performansını bir ölçüde düzeltebilir. Ancak sistem (özellikle de paket trafiğinin) performansındaki asıl önemli iyileşme, ileride ses ve veri integrasyonu için çok daha uygun imkanlar sunan yapılarla sağlanır.

3.2 ÇAĞIRMA ÖNCELİKLİ MODEL

3.2.1 MODELİN ÖZELLİKLERİ

- 1) Sisteme gelen bir çağırma, o anda bir paket hizmet görmekte ise bile hemen hizmete alınır (Kesmeli Öncelik ; Preemptive Priority,PP).
- 2) Bir çağırma, ancak geldiği anda kanal başka bir çağırmaya hizmet ediyorsa bloke edilir.
- 3) Sisteme gelip kanalı yakalayamayan veya hizmette iken bir çağırma gelen paketler, FIFO disiplinli kuyrukta hizmete alınana kadar beklerler.

3.2.2 DURUM DİYAGRAMI VE ANALİZLER

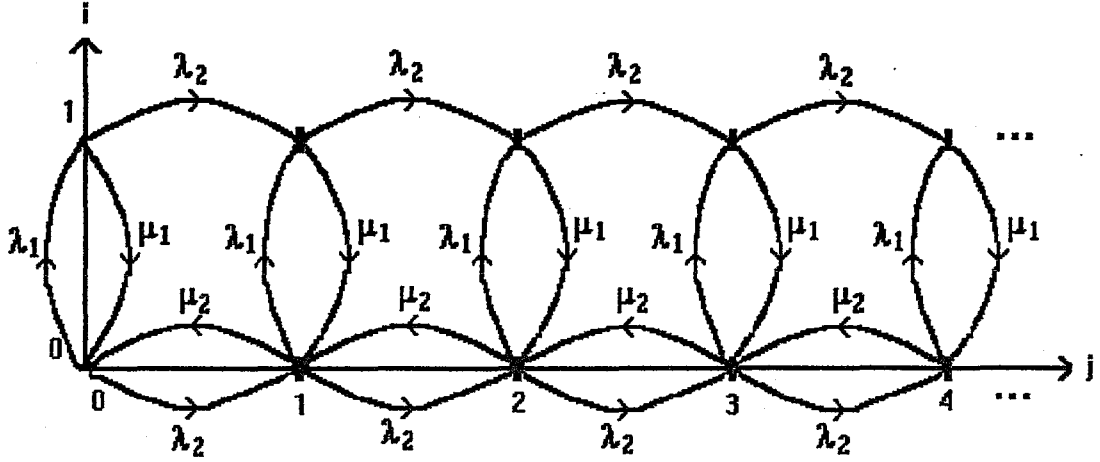
Çağırma öncelikli durumda, 2. grup trafiğin 1. grup üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Bu nedenle, çağırma trafiği sanki tek başınaymış gibi kabul edilip, çağırımların blokaj olasılığı doğrudan Erlang-B Formülü ile ifade edilebilir.

$$P_B = E(\rho_1, N) = \frac{\rho_1^N / N!}{\sum_{j=0}^N \rho_1^j / j!} \quad N=1 \text{ olduğu için}$$

$$P_B = \frac{\rho_1}{1 + \rho_1} \quad (3.22)$$

Burada Bölüm 2.7.1'in başında belirtilen durum söz konusu olduğu için bundan sonraki tüm işlemler, $E(T)$ 'yi bulmak için yapılacaktır.

Çağırma öncelikli yapıya ait Şekil 3-2'deki durum diyagramının FCFS'e ilişkin Şekil 3-1'deki durum diyagramından tek farkı, çağırma önceliğinin yol açtığı $j \geq 1$ için $i=0$ 'dan $i=1$ 'e λ_1 hızıyla dikey geçişlerin olmasıdır.



ŞEKİL 3-2 : Çağırma Öncelikli Yapı İçin Durum Diyagramı

$i=0$ ve $i=1$ için bu yapıya ilişkin denge ve sınır denklemleri şu şekildedir :

$i=0$ için

$$(\lambda_1 + \lambda_2) P_{00} = \mu_1 P_{10} + \mu_2 P_{01} \quad , \quad j=0 \quad (3.23)$$

$$(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2) P_{0j} = \mu_1 P_{1j} + \lambda_2 P_{0,j-1} + \mu_2 P_{0,j+1} \quad , \quad j \geq 1 \quad (3.24)$$

$i=1$ için

$$(\mu_1 + \lambda_2) P_{10} = \lambda_1 P_{00} \quad , \quad j=0 \quad (3.25)$$

$$(\mu_1 + \lambda_2) P_{1j} = \lambda_1 P_{0j} + \lambda_2 P_{1,j-1} \quad , \quad j \geq 1 \quad (3.26)$$

(3.23) ile (3.1) ve (3.25) ile (3.3) sınır denklemleri tamamen aynıdır. Bu yüzden P_{10} için (3.5) ve P_{01} için de (3.6) bu modelde de aynen geçerlidir.

(3.24)'teki $\mu_1 P_{1j}$ ve (3.26)'daki $\lambda_1 P_{0j}$ terimlerinden dolayı bu iki denge denklemi yinelemeli yollardan çözülemez. Bu durumda yapılması gereken moment üreten fonksiyonlardan yararlanarak bu iki denge denklemini, $G_0(z)$ ve $G_1(z)$ olarak iki bilinmeyenli iki denkleme dönüştürmektir.

(3.24)'deki tüm terimler z^j ile çarpılıp, $j \geq 1$ için toplam alınır ve $G_1(z)$ 'nin tanımı ile 3-a,b,c özellikleri de burada kullanıldığında

$$(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2) (G_0(z) - P_{00}) = \lambda_2 z G_0(z) + \mu_1 (G_1(z) - P_{10}) + \mu_2 z^{-1} (G_0(z) - P_{00} - z P_{01}) \quad (3.27)$$

Aynı işlem (3.26)'ya da uygulanırsa

$$(\mu_1 + \lambda_2) (G_1(z) - P_{10}) = \lambda_1 (G_0(z) - P_{00}) + \lambda_2 z G_1(z) \quad (3.28)$$

(3.27) ve (3.28)'de P_{01} yerine (3.6)'daki ve P_{10} yerine de (3.5)'teki karşılıkları yazılıp, bu iki denklem birlikte çözülürse

$$G_0(z) = \frac{P_{00}(1 + (1-z)\alpha\rho_2)}{\alpha\rho_2^2 z^2 - (\rho_2 + \rho_1\rho_2 + \alpha\rho_2^2 + \alpha\rho_2)z + 1 + \alpha\rho_2} \quad (3.29)$$

$$G_1(z) = \frac{\rho_1 G_0(z)}{1 + (1-z)\alpha\rho_2} \quad (3.30)$$

Geriye bir tek P_{00} 'ın bulunması kalmıştır. Bunun için yine moment üreten fonksiyonların $G_0(1) + G_1(1) = 1$ şeklindeki 2-b özelliğinden yararlanılır.

$$z=1 \text{ için (3.29)'dan} \quad G_0(1) = \frac{P_{00}}{1 - \rho_2(1 + \rho_1)} \quad (3.31)$$

$$z=1 \text{ için (3.30)'dan} \quad G_1(1) = \frac{\rho_1 P_{00}}{1 - \rho_2(1 + \rho_1)} \quad (3.32)$$

$$G_0(1) + G_1(1) = \frac{1 + \rho_1}{1 - \rho_2(1 + \rho_1)} P_{00} = 1 \Rightarrow P_{00} = \frac{1 - \rho_2(1 + \rho_1)}{1 + \rho_1} = \frac{1}{1 + \rho_1} - \rho_2 \quad (3.33)$$

P_{00} pozitif bir değer olduğu için $\rho_2 < 1/(1 + \rho_1)$ olmalıdır. Ayrıca (3.22)'den $1 - P_B = 1/(1 + \rho_1)$ bulunur. Bu iki ifadeden paket kuyruğunun denge koşulu

$$\rho_2 < 1 - P_B \quad \text{olarak çıkar.} \quad (3.34)$$

Başlangıçta doğrudan Erlang-B'den bulunan P_B , bu noktada değişik bir yaklaşımla da bulunabilir. Gelen bir çağırma, ancak sistemde hizmet görmekte olan başka bir çağırma varsa bloke edilecektir. Yani $i=1$ için (j ne olursa olsun) tüm olasılıkların toplamı P_B eşit olacaktır.

$$P_B = \sum_{j=0}^{\infty} P_{1j} = G_1(1)$$

(3.33)'deki P_{00} değeri, (3.32)'deki $G_1(1)$ 'de yerine konduğunda

$$P_B = G_1(1) = \frac{\rho_1}{1 + \rho_1}$$

elde edilir ki, bu da başlangıçta P_B için bulunan (3.22)'nin aynısıdır.

Paketlerin zaman gecikmesi yine $E(j)$ 'den, $E(j)$ ise $E(j) = G_0^1(1) + G_1^1(1)$ eşitliğinden yola çıkılarak bulunabilir. Buna göre (3.29) ve (3.30)'da z 'ye göre türev alınıp, z yerine 1 ve P_{00} yerine de (3.33) konulduğunda önce $E(j)$ ve sonra da Little Formülü'den $\mu_2 E(T)$ şu şekilde elde edilir :

$$E(j) = \frac{\rho_2(1 + \rho_1)^2 + \alpha\rho_1\rho_2}{(1 - \rho_2(1 + \rho_1))(1 + \rho_1)} \quad (3.35)$$

$$\mu_2 E(T) = \frac{E(j)}{\rho_2} = \frac{(1 + \rho_1)^2 + \alpha\rho_1}{(1 - \rho_2(1 + \rho_1))(1 + \rho_1)} \quad (3.36)$$

3.2.3 KONTROLLER

1) $\rho_1=0$ için (3.29)'da gerekli düzenlemeler yapılır ve yine $\rho_1=0$ için (3.33)'ten bulunan P_{00} değeri de burada yerine konulduğunda

$$G_0(z) = \frac{1 - \rho_2}{1 - \rho_2 z}, \quad \rho_1=0 \quad \text{elde edilir.}$$

Bu değer, M/M/1 için bulunan (A.20)'ye özdeştir.

2) $\rho_1=0$ için (3.33)'deki P_{00} ifadesi, $P_{00}=1-\rho_2$ halini alır ki bu da M/M/1 için bulunan (A.19)'a özdeştir.

3) $\rho_1=0$ için (3.36)'dan $\mu_2 E(T)=1/(1-\rho_2)$ elde edilir. Bu da M/M/1 için bulunan (A.22)'deki normalize zaman gecikmesi ifadesine özdeştir.

3.2.4 SONUÇLAR

Çağırma öncelikli yapıdan başlangıçta beklenen davranış, FCFS'e göre P_B 'nin azalması, $\mu_2 E(T)$ 'nin ise artmasıdır.

1) Çağırma Bloka Olasılığı, P_B :

$$\frac{P_{B(FCFS)}}{P_{B(PF)}} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_1} = 1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} > 1 \Rightarrow P_{B(FCFS)} > P_{B(PF)}$$

Öncelikle P_B , ρ_2 'den bağımsız olduğu için 2. tip çerçeve yapısında alabileceği en iyi değer olan eşdeğer ayrı sistemdeki (tek hizmet organlı Erlang-B'deki) değerine eşit olmaktadır. Ayrıca yukarıdaki ifadeden de görüldüğü gibi P_B , gerçekten FCFS'e göre azalmaktadır. Çağırma trafiğinin paket trafiğinden hiçbir şekilde etkilenmediği çağırma öncelikli halde, P_B 'nin sadece ρ_1 'e bağlı olması ve FCFS'e göre azalması olağan bir sonuçtur. P_B 'nin düşük olması ise sadece ρ_1 'in küçük olmasına bağlıdır.

2) Paketlerin Normalize Zaman Gecikmesi, $\mu_2 E(T)$:

İyi bir yaklaşıklıkla, 2. tip çerçeve yapısını kullanan hibrit bağlaşımlı bir sistem için $\alpha \gg 1$, $\rho_1 \ll 1$, $\rho_2 < 0,5$ olarak kabul edilebilir. Bu durumda normalize zaman gecikmesi ifadelerindeki etkin terimler, FCFS için (3.21)'in 2. terimi ve çağırma öncelikli durum için ise (3.36)'nın 2. terimi olacaktır. Bu etkin terimlerin oranı

$$\frac{E(T)_{(PP)}}{E(T)_{(FCFS)}} = \frac{1}{1-\rho_2} > 1 \Rightarrow E(T)_{(PP)} > E(T)_{(FCFS)}$$

Çağırma öncelikli yapıda, paketlerin ortak kanalı kullanma olasılığı (kullandıkları kanal kapasitesi) FCFS'e göre azaldığı için zaman gecikmesinde bir artış olması doğaldır.

Bu yapıda zaman gecikmesi FCFS'den bile daha fazla olduğu için eşdeğer ayrı sisteme göre paket performansında gözlenen bozulma, çok daha fazla olacaktır.

FCFS'dekine benzer şekilde $\mu_2 E(T)$, payındaki α teriminden dolayı çağırma öncelikli yapıda, paketlerin ortak kanalı kullanma olasılığı (kullandıkları kanal kapasitesi) FCFS'e göre azaldığı için zaman gecikmesinde bir artış olması doğaldır.

Paket kuyruğunun denge koşulunu veren (3.34)'den çağırma öncelikli yapı için ρ_2 'ye bir üst sınır gelmektedir. $1-P_B$ ifadesi çağırma öncelikli yapı tarafından kullanılmayan dolayısıyla paketler tarafından kullanılan kanal kapasitesinin bir yüzdesidir. Paket kuyruğunun dengede kalabilmesi için ρ_2 'nin paketlere ayrılan kanal kapasitesi bölümünden küçük olması mantıklı bir sonuçtur.

Paket kuyruğunun denge koşulu olan FCFS'deki $\rho_2 < 1$ ile çağırma öncelikli durumdaki $\rho_2 < 1/(1+\rho_1)$ karşılaştırıldığında

1) $1/(1+\rho_1) < 1$ olduğu için çağırma öncelikli yapıda, paket kuyruğunun denge şartı daha da ağırlaşmıştır. Başka bir deyişle, bu yapıda paketlerin kullanabileceği kanal kapasitesi FCFS'e göre azalmıştır.

2) FCFS'nin aksine çağırma öncelikli durumda paket kuyruğunun denge şartı doğrudan doğruya 1. grup trafiğe bağlıdır.

Çağırma öncelikli yapıda paket kuyruğunun denge koşulunda karşılaşılan bu iki olumsuz durum, bu yapıda paket performansının FCFS'den daha kötü olmasının zaman gecikmesindeki artışın dışındaki diğer sonuçlarıdır.

Sonuç olarak çağırma öncelikli yapıda FCFS'e göre 1. grubun performansı iyileşirken, 2. grubunki daha kötüye gitmektedir. Eşdeğer ayrı sistemlere göre ise 1. grubun performansında bir değişiklik olmazken, 2. grubunkinde epey bir bozulma gözlenmektedir

ÖRNEK: Sayısal sonuçları görebilmek ve bunlara göre iki modeli, birbiriyle ve eşdeğerleri olan ayrı sistemlerle karşılaştırmak açısından hibrit bağlaşmalı bir sistem için çok karakteristik değerler içeren aşağıdaki örneği ele alalım.

$1/\mu_1=100\text{sn}$; $1/\mu_2=10\text{msn}$; $\rho_1=0,1$; $\rho_2=0,4$ değerleri için bu bölümde ele alınan iki farklı model ve bunların eşdeğerleri olan ayrı sistemlere ilişkin P_B ve $E(T)$ değerleri Tablo 3-1'de görülmektedir.

Bu tablodan görüldüğü gibi çağırma öncelikli durumda P_B , FCFS'deki değerinin 1/5'ine düşmekte; $E(T)$ ise yaklaşık %60 oranında artmaktadır. Bu sonuçlar da bu bölüm boyunca yapılan yorumları tamamen desteklemektedir.

TABLO 3-1 : Örneğin Sayısal Sonuçları

YAPI	P_B	$E(T)$
Erlang-B	0,09	--
M/M/1	--	7 msn
FCFS	0,45	9,9 sn
Çağırma Öncelikli Durum	0,09	16 sn

BÖLÜM 4

HAREKETLİ SINIR MODELLERİ

Bu bölümde, 1. tip çerçeve yapısına dayanan $N_1=N_2=1$ kanallı ve düşük-yük bölgesi için çok kanallı iki değişik hareketli sınır yapısına ait iki farklı model incelenmiştir. Ayrıca aşırı-yük bölgesi için bir akış kontrolü düzeneğinin gerekliliği ile çağrılardaki sessizlik sürelerinin paket trafiğine kazandırılması ve bu durumun nasıl modellenebileceği üzerinde durulmuştur.

3. Bölüm'de ele alınan başta çağırma öncelikli model olmak üzere her iki model için de paket performansının eşdeğer ayrı sisteme göre oldukça bozulduğu görülmüştü. Paket performansını düzeltmenin bir yolu, sayısal çözümlerin kolaylığı için $N=1$ olarak seçilen kanal sayısını $N>1$ olacak şekilde arttırmaksa da asıl düzelme, birkaç kanalın ortaklaşa kullanımı esasına dayanan hareketli sınırla sağlanmaktadır.

Bu çalışmada 1. tip çerçeve yapısı için sadece hareketli sınıra dayanan modeller ele alınmıştır. Çünkü sabit sınırlı 1. tip çerçeve yapısında, her iki grup da birbirinden etkilenmeyeceği için performansları eşdeğerleri olan ayrı yapılarıdakiyle tamamen aynı olacaktır. Bu durumda, sabit sınır modellerinin hibrit bağlaşma açısından incelenmeye değer önemli bir özelliği yoktur.

Bu bölümdeki her iki model için de Bölüm 2.8'deki ortak özellikler ile Bölüm 2.3.2.2' deki hareketli sınırın temel özellikleri aynen geçerlidir. Ayrıca her iki yapı için de paketlerin kullanabileceği 1. bölgeye ait boş slotlar, Bölüm 4.5'de belirtilen MB-1'e göre elde edilmektedir.

4.1 HAREKETLİ SINIRDA ÇALIŞMA ŞEKLİ

Modellere geçmeden önce, hareketli sınırdaki paket kuyruğunun ve tüm sistemin denge koşulları ile çalışma bölgelerini incelemekte fayda vardır.

N slotlu genel 1. tip çerçeve yapısını kullanan hareketli sınır düzeninde - sonsuz kapasiteli paket kuyruğu için- paket kuyruğunun denge koşulu veya aynı zamanda paketlerin maksimum kullanım oranı (maksimum paket trafiği yoğunluğu) şu şekilde ifade edilebilir :

$$\rho_2 < N - E(i) \quad (4.1)$$

$$E(i) = \rho_1(1 - P_B) \text{ ve } N = N_1 + N_2 \text{ için } N - E(i) = N_2 + (N_1 - \rho_1(1 - P_B))$$

$$\rho_2 < N_2 + (N_1 - \rho_1(1 - P_B)) \quad (4.2)$$

Yukarıdaki ifadelerdeki P_B , çağrılar için blokaj olasılığı (N_1 hizmet organlı Erlang-B Formülü); $E(i)$, sistemde bulunan ortalama çağırma sayısı; $N - E(i)$ ise paketlerin kullanabileceği ortalama kanal sayısını göstermektedir.

Kuyruğun dengede kaldığı $\rho_2 < N - E(i)$ koşulu altında, hareketli sınır düzeninde paket trafiği için iki farklı çalışma bölgesi vardır. Bunlar :

- 1) Düşük-Yük Bölgesi ($\rho_2 < N_2$) : Makul uzunlukta bir kuyruk oluşur.
- 2) Aşırı-Yük Bölgesi ($N_2 \leq \rho_2 < N - E(i)$) : Kuyrukta her an aşırı bir yığılma olması olasılığı yüksektir.

(4.1)'dekine benzer şekilde tüm sistemin denge koşulu

$$\rho = \rho_2 + \rho_1(1 - P_B) < N \quad \text{şeklindedir.} \quad (4.3)$$

Bu ifadedeki ρ , tüm sistemin kullanım oranı; ρ_1 , çağrıların kullanım oranı (hizmet gören (sistemde bulunan) ortalama çağırma sayısı); ρ_2 ise paketlerin kullanım oranıdır (hizmet gören ortalama paket sayısıdır).

Bu bölümde kullanılan tüm ρ , ρ_1 ve ρ_2 değerleri sırasıyla N , N_1 ve N_2 tane kanalın tamamına düşen trafik yoğunluklarıdır. Tek bir kanal başına düşen ve birden küçük olan gerçek trafik yoğunlukları ise aslında aşağıdaki gibidir.

$$\rho_{(1)} = \rho/N \quad \rho_{1(1)} = \rho_1/N_1 \quad \text{ve} \quad \rho_{2(1)} = \rho_2/N_2 \quad (\rho_{(1)}, \rho_{1(1)}, \rho_{2(1)} < 1)$$

4.2 $N_1=N_2=1$ OLAN HAREKETLİ SINIR MODELİ

4.2.1 MODELİN ÖZELLİKLERİ

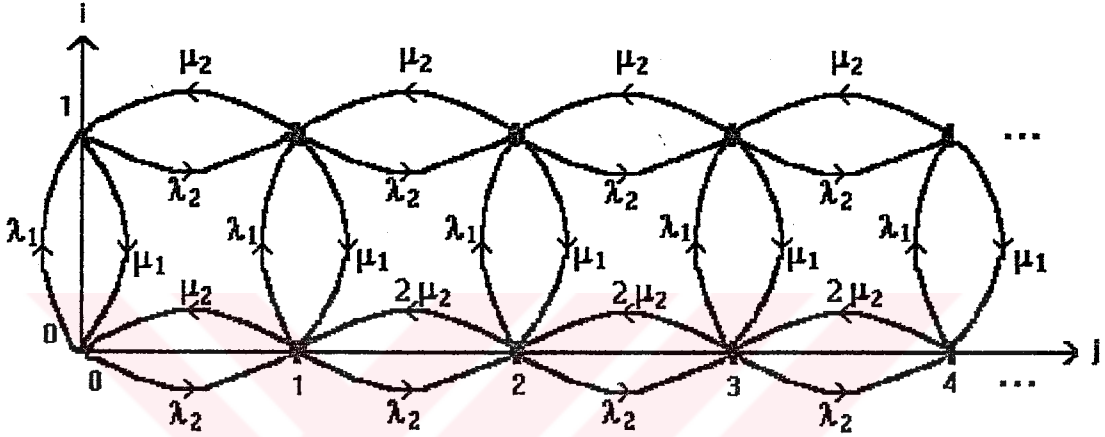
- 1) Grupların herbirine tek bir kanalın tahsis edildiği ($N_1=N_2=1$) hareketli sınır düzeni için tam analiz yöntemi kullanılmıştır.
- 2) Bu bölümde ele alınan yapının 1. grup eşdeğeri tek hizmet organlı Erlang-B ve 2. grup eşdeğeri de M/M/1'dir.
- 3) Bu bölümde ele alınan hareketli sınır modelinde tüm kontroller, sistemin iki limit durumu olan $\rho_1 \rightarrow 0$ ve $\rho_1 \rightarrow \infty$ için yapılacaktır.
 - a) $\rho_1 \rightarrow \infty$ ise çağrılar zamanın her anında kendilerine ait kanalı kullanacaklardır. Sonuçta, sistem daima $i=1$ durumunda bulunacak ve paket kuyruğu M/M/1 gibi davranacaktır.
 - b) $\rho_1 \rightarrow 0$ ise zamanın çok büyük bir bölümünde çağrılara ait olan kanal boş kalacaktır. Sonuçta, sistem çoğunlukla $i=0$ durumunda bulunacak ve paket kuyruğu M/M/2 gibi davranacaktır.

4.2.2 DURUM DİYAGRAMI VE ANALİZLER

Çağrılar, kendi kanallarını kullanan paketlere karşı kesmeli önceliğe sahip oldukları için yani her şart altında kendilerine ait N_1 kanalı kullanabildikleri için hareketli sınır yapılarında çağırma trafiği, paket trafiğinden etkilenmez.

Bu durumda çağrılar için blokaj olasılığı, N_1 tane hizmet organlı Erlang-B Formülü ile ifade edilir.

$$P_B = E(\rho_1, N_1) = \frac{\rho_1^{N_1} / N_1!}{\sum_{j=0}^{N_1} \rho_1^j / j!} \quad N_1=1 \text{ için} \quad P_B = \frac{\rho_1}{1 + \rho_1} \quad (4.4)$$



ŞEKİL 4-1 : $N_1=N_2=1$ Olan Hareketli Sınır Yapısı İçin Durum Diyagramı

Bu bölümde ele alınan hareketli sınır yapısına ilişkin Şekil 4-1'deki iki boyutlu durum diyagramındaki geçişler şu şekilde açıklanabilir :

- 1) $i=1$ için sistemde daima bir çağırma olacak ve kendisine ait kanalı kullanacaktır. Bu durumda paketler, sadece kendilerine ait kanalı kullanabilecekleri için 2. grup trafik, $i=1$ eksenini boyunca M/M/1 gibi davranacaktır.
- 2) $i=0$ için çağrılara ait kanal boş olacağından -bir çağırma gelmediği sürece- paketler her iki kanalı da kullanabilirler. Bu durumda, 2. grup trafik, $i=0$ eksenini boyunca M/M/2 gibi davranacaktır.
- 3) a) Paketler her iki kanalı da kullanırken ($i=0$ 'da) λ_1 hızıyla gelen bir çağırma, hemen kendi kanalını yakalar ve $i=0$ durumundan $i=1$ 'e geçer.

b) Sistemde bir çağırma varken ($i=1$ 'de), bu çağırma μ_1 hızıyla sonlandığında $i=1$ 'den $i=0$ 'a (paketler için M/M/1'den M/M/2'ye) geçilir.

1. tip çerçeve yapısı için çağırmalara N_1 tane kanalın tahsis edildiği genel durumda, i 'nin her bir değeri için bir tane olmak üzere toplam N_1+1 tane denge denkleminde ihtiyaç vardır ($i=0,1,\dots,N_1$).

Bu bölümdeki yapıda $N_1=1$ olduğundan, mevcut iki denge denklemleri durum diyagramından şu şekilde yazılır :

$$(\mu_1+\mu_2+\lambda_2) P_{1j} = \lambda_1 P_{0j} + \mu_2 P_{1,j+1} + \lambda_2 P_{1,j-1} \quad , j \geq 1 \quad (4.5)$$

$$(\lambda_1+\lambda_2+2\mu_2) P_{0j} = 2\mu_2 P_{0,j+1} + \mu_1 P_{1j} + \lambda_2 P_{0,j-1} \quad , j \geq 2 \quad (4.6)$$

Bunlara ilaveten sırasıyla sistemin (1,0), (0,0) ve (0,1) sınır durumlarına ilişkin yazılan üç tane denge (sınır) denklemleri de şunlardır :

$$(\mu_1+\lambda_2) P_{10} = \lambda_1 P_{00} + \mu_2 P_{11} \quad (4.7)$$

$$(\lambda_1+\lambda_2) P_{00} = \mu_1 P_{10} + \mu_2 P_{01} \quad (4.8)$$

$$(\lambda_1+\lambda_2+\mu_2) P_{01} = \mu_1 P_{11} + 2\mu_2 P_{02} + \lambda_2 P_{00} \quad (4.9)$$

Son yazılan üç sınır denkleminde P_{00} , P_{01} , P_{10} , P_{11} ve P_{02} olmak üzere beş tane bilinmeyen durum olasılığı vardır. O halde, iki ek denkleme daha ihtiyaç vardır ki bunlardan bir tanesi ileride bulunacak olan (4.16) denklemdir.

(4.5)'deki $\lambda_1 P_{0j}$ ve (4.6)'daki $\mu_1 P_{1j}$ terimlerinden dolayı bu iki denge denklemleri yinelemeli yollardan çözülemeyeceği için yine moment üreten fonksiyonlardan yararlanılır.

(4.5)'deki tüm terimler z^j ile çarpılıp, $j \geq 1$ için toplam alınır ve $G_i(z)$ 'nin 3-a,b,c özellikleriyle (4.7)'den de yararlanılırsa

$$G_1(z) (z\mu_1 + (z-1)(\mu_2 - \lambda_2 z)) = \lambda_1 z G_0(z) + \mu_2 (z-1) P_{10} \quad (4.10)$$

(4.10)'un bulunmasında yapılan işlemler, bu kez $j \geq 2$ için toplam alınması ve (4.8)'den yararlanılması kaydıyla aynen (4.6) için tekrarlanırsa

$$G_0(z) (z\lambda_1 + (z-1)(2\mu_2 - \lambda_2 z)) = \mu_1 z G_1(z) + \mu_2 (z-1) (2P_{00} + zP_{01}) \quad (4.11)$$

$$(4.10) \text{ veya } (4.11)'den \quad G_1(1) = \rho_1 G_0(1) \quad (4.12)$$

Ayrıca (4.12) ile $G_0(1) + G_1(1) = 1$ şeklindeki $G_1(z)$ 'nin 2-b özelliği birlikte çözüldüğünde

$$G_0(1) = \sum_{j=0}^{\infty} P_{0j} = \frac{1}{1 + \rho_1} \quad (4.13)$$

$$G_1(1) = \sum_{j=0}^{\infty} P_{1j} = \frac{\rho_1}{1 + \rho_1} \quad (4.14)$$

Başlangıçta doğrudan Erlang-B'den bulunan P_B ifadesinin aynısı, bu aşamada başka bir yoldan da bulunabilir (tamamen Bölüm 3.2.2'de P_B 'nin bulunmasında kullanılan 2. yola benzer şekilde).

$$P_B = \sum_{j=0}^{\infty} P_{1j} = G_1(1) = \frac{\rho_1}{1 + \rho_1}$$

(4.10)'dan bulunan $z\mu_1 G_1(z)$, (4.11)'de yerine yazılıp tüm terimler μ_2 'ye bölündüğünde iki denklem aşağıdaki tek denkleme indirgenir :

$$G_0(z) (2 - \rho_2 z) + G_1(z) (1 - \rho_2 z) = 2P_{00} + (P_{01}z + P_{10}) \quad (4.15)$$

$z=1$ için (4.15)'de, (4.13) ve (4.14) yerlerine konularak başlangıçtaki durum olasılıklarının bulunması için gereken ek denklemlerden biri elde edilir.

$$2P_{00} + P_{01} + P_{10} = 1 - \rho_2 + \frac{1}{1 + \rho_1} \quad (4.16)$$

$N=2$ için (4.3)'teki P_B yerine (4.4)'teki P_B değeri yazıldığında, bu bölümdeki hareketli sınır yapısı için tüm sistemin denge koşulu şu hale gelir :

$$\rho = \rho_2 + \rho_1(1-P_B) = \rho_2 + \frac{\rho_1}{1+\rho_1} < 2 \quad (4.17)$$

Bu noktada notasyonlarda biraz daha basitlik sağlayabilmek için ρ toplam kullanım oranından artı kalan ortalama kapasite veya sistemdeki ortalama boş kanal sayısı olarak ifade edilen bir "a" parametresi tanımlanabilir.

$$a = N - \rho = N - \rho_2 - \rho_1(1-P_B) \quad (4.18)$$

şeklindeki genel a ifadesi, bu bölümdeki yapı için şu hale gelir :

$$a = 2 - \rho = 2 - \rho_2 - \frac{\rho_1}{1+\rho_1} = 1 - \rho_2 + \frac{1}{1+\rho_1} \quad (4.19)$$

(4.19)'da bulunan a değeri, (4.16)'nın sağ tarafına eşittir. Bu durumda, (4.16) ifadesi daha basit olarak

$$2P_{00} + P_{01} + P_{10} = a \quad \text{şeklinde yazılabilir.} \quad (4.20)$$

(4.20) ve (4.8) kullanılarak P_{01} ve P_{10} , P_{00} cinsinden şu şekilde bulunur :

$$P_{01} = \frac{(2 + \rho_1 + \alpha\rho_2) P_{00} - a}{(\alpha - 1)} \quad (4.21)$$

$$P_{10} = \frac{\alpha a - (\rho_1 + \alpha\rho_2 + 2\alpha) P_{00}}{(\alpha - 1)} \quad (4.22)$$

(4.10) ve (4.11)'in birlikte çözülmesiyle $G_0(z)$ ve $G_1(z)$ 'ye ait tam ifadeler aşağıdaki gibi elde edilir :

$$G_0(z) = \frac{(2P_{00} + zP_{01} + P_{10})z + \alpha(z-1)(1-\rho_2z)(2P_{00} + zP_{01})}{\alpha(2-\rho_2z)(z-1)(1-\rho_2z) + z(2-\rho_2z) + \rho_1z(1-\rho_2z)} \quad (4.23)$$

$$G_1(z) = \frac{\rho_1z G_0(z) + \alpha(z-1)P_{10}}{\alpha(z-1)(1-\rho_2z) + z} \quad (4.24)$$

Artık paket trafiğine ilişkin normalize zaman gecikmesinin hesaplanmasına geçilebilir. Bunun için yine $G_i(z)$ 'nin, $E(j) = G_0^1(1) + G_1^1(1)$ şeklindeki 4.özellikten yararlanarak ilk önce $E(j)$ 'yi bulmak gerekir. $G_0^1(1)$ ve $G_1^1(1)$ ise sırasıyla (4.23) ve (4.24)'ten bulunarak $E(j)$ şu şekilde elde edilir :

$$E(j) = \frac{1}{a(1+\rho_1)} \left(\alpha P_{10} + (1+\rho_1)(\rho_2 + P_{01}) - \frac{\alpha \rho_1}{1+\rho_1} (1-\rho_2) \right) \quad (4.25)$$

Little Formülü'nü kullanarak normalize zaman gecikmesi ifadesi aşağıdaki gibi bulunur :

$$\mu_2 E(T) = \frac{E(j)}{\rho_2} = \frac{1}{a} \left(\frac{\alpha}{\rho_2(1+\rho_1)} \left(P_{10} - \frac{\rho_1(1-\rho_2)}{1+\rho_1} \right) + \frac{P_{01}}{\rho_2} + 1 \right) \quad (4.26)$$

(4.26)'daki P_{01} ve P_{10} terimlerinden dolayı $\mu_2 E(T)$ henüz tam olarak bulunamamıştır. Bu amaçla, bu iki durum olasılığına ilişkin en son yazılan (4.21) ve (4.22)'ye ilaveten bir ek denklem daha bulup (P_{00} ile birlikte üç tane bilinmeyen var), elde edilen P_{01} ve P_{10} değerlerini (4.26)'da yerine koymak bir çözüm yoludur. Bununla birlikte, bu üç durum olasılığı ve $\mu_2 E(T)$ için $\alpha \gg 1$ koşulu altında paket trafiğinin her iki çalışma bölgesi için de kapalı formda yaklaşık çözümler bulunabilir. Bölüm 3.1.4'te de belirtildiği gibi $\alpha \gg 1$ kabulü, integre bir ses-veri şebekesi için oldukça gerçekçi bir yaklaşımdır. Bu tür bir yaklaşık çözümle $\mu_2 E(T)$ şu şekilde elde edilir :

1) Düşük-Yük Bölgesi İçin : $\alpha \gg 1$ ve $\rho_2 < N_2 = 1$

$$\mu_2 E(T) = \frac{4}{a(1+\rho_1)(2+\rho_2)} + \frac{\rho_1}{a(1+\rho_1)} \quad (4.27.a)$$

2) Aşırı-Yük Bölgesi İçin : $\alpha \gg 1$ ve $\rho_2 > N_2 = 1$

$$\mu_2 E(T) = \frac{1}{a} \left(1 + \frac{a}{2+\rho_2} + \frac{\alpha(\rho_2-1)\rho_1}{\rho_2(1+\rho_1)^2} \right) \quad (4.27.b)$$

4.2.3 KONTROLLER

Bu modelin kontrolleri, Bölüm 4.2.1’de belirtildiği gibi yapılmıştır.

1) $G_0(z)$ ve $G_1(z)$ ’nin Kontrolleri :

a) $\rho_1 \rightarrow \infty$ için

$\rho_1 \rightarrow \infty$ için sistem daima $i=1$ durumunda kalacağından $i=0$ durumuna ait P_{00} ve P_{01} durum olasılıkları 0 olacaktır. Buna göre

$\rho_1 \rightarrow \infty$ için (4.23)’ten $G_0(z) = 0$ ($P_{00} = P_{01} = 0$)

$$(4.24)\text{'ten } G_1(z) \cong \frac{P_{10}}{1 - \rho_2 z}$$

$G_0(1) + G_1(1) = 1$ şeklindeki moment üreten fonksiyonların 2-b özelliği $\rho_1 \rightarrow \infty$ limit hali için $G_1(1) = 1$ halini alır.

$$G_1(1) = \frac{P_{10}}{1 - \rho_2} = 1 \quad \text{den} \quad P_{10} = 1 - \rho_2 \quad \text{bulunur ve } G_1(z)$$

$$G_1(z) = \frac{1 - \rho_2}{1 - \rho_2 z} \quad \text{şeklini alır.}$$

Bulunan bu $G_1(z)$, M/M/1’deki (A.20) ifadesine özdeştir. $G_0(z)$ ’nin 0 olması ise $i=0$ için tüm durum olasılıklarının (P_{0j} ’lerin) 0 olması demektir. Gerçekten de $\rho_1 \rightarrow \infty$ için sistemde hiçbir çağırmanın olmaması imkansızdır.

b) $\rho_1 = 0$ için

$\rho_1 = 0$ için sistem daima $i=0$ durumunda kalacağından $i=1$ durumuna ait P_{10} olasılığı 0 olacaktır. Ayrıca $\rho_1 = 0$ için (4.21)’den $P_{01} \cong \rho_2 P_{00}$ bulunur. Bu P_{10} ve P_{01} değerleri yine $\rho_1 = 0$ için (4.23) ve (4.24)’te yerlerine yazılırsa

$$G_0(z) = \frac{2 + \rho_2 z}{2 - \rho_2 z} P_{00} \quad \text{ve} \quad G_1(z) = 0 \quad \text{elde edilir.}$$

$G_0(1) + G_1(1) = 1$ şeklindeki moment üreten fonksiyonların 2-b özelliği $\rho_1=0$ limit hali için $G_0(1)=1$ halini alır.

$$G_0(1) = \frac{2+\rho_2}{2-\rho_2} P_{00} = 1 \quad \text{den} \quad P_{00} = \frac{2-\rho_2}{2+\rho_2} \quad \text{bulunur ve } G_0(z)$$

$$G_0(z) = \frac{2+\rho_2 z}{2-\rho_2 z} \frac{2-\rho_2}{2+\rho_2} \quad \text{şeklini alır.}$$

Bulunan bu $G_0(z)$ ifadesi, M/M/2'deki (A.29)'a ve P_{00} da yine M/M/2'deki (A.28)'e tamamen özdeştir. $G_1(z) = 0$ olması ise $i=1$ için tüm durum olasılıklarının (P_{1j} 'lerin) 0 olması demektir. Gerçekten de $\rho_1=0$ için sistemde bir çağırmanın olması imkansızdır.

2) $E(j)$ 'nin Kontrolü :

a) $\rho_1 \rightarrow \infty$ için (4.25)'deki $E(j)$ ifadesinden $E(j) \rightarrow \rho_2 / (1-\rho_2)$ elde edilir ki bu da M/M/1 için bulunan (A.21)'e özdeştir.

b) $\rho_1 = 0$ için $E(j)$ 'nin bulunmasında gereken P_{10} ve P_{01} değerleri

$$P_{10} = 0 \quad \text{ve} \quad P_{01} \cong \rho_2 P_{00} = \rho_2 \frac{2-\rho_2}{2+\rho_2} \quad \text{olarak bulunur.}$$

P_{10} ve P_{01} değerleri (4.25)'de yerlerine konularak $E(j)$, $\rho_1 = 0$ için

$$E(j) = \frac{\rho_2 + P_{01}}{2-\rho_2} = \frac{4\rho_2}{(2-\rho_2)(2+\rho_2)}$$

Bu $E(j)$ ifadesi, M/M/2 için bulunan (A.30)'a tamamen özdeştir.

3) Düşük-Yük Bölgesi'ndeki $\mu_2 E(T)$ 'nin Kontrolü :

a) $\rho_1 \rightarrow \infty$ için (4.27.a)'dan $\mu_2 E(T) = 1/a = 1/(1-\rho_2)$ elde edilir ki bu ifade, M/M/1'deki karşılığı olan (A.22) ifadesine özdeştir.

b) $\rho_1=0$ için (4.27.a)'dan bulunan

$$\mu_2 E(T) = \frac{4}{a(2+\rho_2)} = \frac{4}{(2-\rho_2)(2+\rho_2)} \text{ ise } M/M/2\text{'deki (A.31)'e özdeştir.}$$

c) Ayrıca $\rho_2 \rightarrow 0$ (paket trafiği oldukça düşük) ise $E(T) \rightarrow 1/\mu_2$ bulunur. Gerçekten de $\rho_2 \rightarrow 0$ için sisteme gelen her paket, kuyrukta hiç beklemeden doğrudan hizmete alınacak ve bu nedenle $E(T)$, sadece bir paketin hizmet süresi olan $1/\mu_2$ 'ye eşit olacaktır.

Aşırı-yük bölgesindeki $\mu_2 E(T)$ için böyle bir kontrol yapılamaz. Çünkü $M/M/1$ ve $M/M/2$ için $\rho > N$ olması, paket kuyruğunun denge şartına uymaz (bu iki yapı için böyle bir çalışma bölgesi zaten mevcut değildir). Bu durumda $\mu_2 E(T)$ 'nin aşırı-yük bölgesi için $M/M/1$ ve $M/M/2$ 'de karşılıkları yoktur.

4.2.4 SONUÇLAR

1) Çağırma Bloka Olasılığı, P_B :

P_B için bulunan (4.4), hibrit sistemin 1. grup eşdeğeri olan tek hizmet organlı Erlang-B ifadesidir. Çağırma kendi kanallarını kullanan paketlere karşı kesmeli önceliğe sahip olduğu hareketli sınır yapılarının tümünde 1. grup 2. gruptan etkilenmez. Bu bölümdeki hareketli sınır yapısında da gelen bir çağırma, paket trafiğinden hiç etkilenmeyerek ya kendilerine ait kanalı yakalayacağı ya da bloke edileceği için bu, doğal bir sonuçtur.

Ayrıca (4.4)'teki P_B ifadesi, Bölüm-3'teki çağırma öncelikli yapıda P_B için bulunan (3.22)'nin aynısıdır. Her iki yapı, çağırma trafiği açısından birbirine özdeş olduğu için bu da doğru bir sonuçtur.

Sonuçta, bu bölümde incelenen hareketli sınır yapısındaki P_B 'nin, hibrit

sistemin çağırma eşdeğerindekiyle aynı olması yani 1. grubun performansında eşdeğer ayrı sisteme göre bir kaybın olmaması olumlu bir sonuçtur.

2) Paketlerin Normalize Zaman Gecikmesi, $\mu_2 E(T)$:

Hareketli sınır yapısının çalışma prensibinden dolayı asıl iyileşme paket trafiğinin performansında (zaman gecikmesinde) beklenmektedir.

Bu yapıda zaman gecikmesi iki farklı çalışma bölgesi için ayrı ayrı incelenebilir.

Düşük-Yük Bölgesi : $\mu_2 E(T)$ için bulunan (4.27.a)'da ilk göze çarpan, 3. Bölüm'deki zaman gecikmelerinin büyük çıkmasının başlıca nedeni olan α teriminin ($\alpha \gg 1$) bu ifadede gözükmemesidir. Bunun sonucu olarak da $\mu_2 E(T)$, 3. Bölüm'deki yapıların her ikisine göre de önemli ölçüde azalmaktadır.

Düşük-yük bölgesinde zaman gecikmesi, en iyi halde ($\rho_1=0$ için) $M/M/2$ 'deki ve en kötü halde de ($\rho_1 \rightarrow \infty$ için) $M/M/1$ 'deki zaman gecikmelerine eşit olacak şekilde bu iki değer arasında ρ_1 ve ρ_2 'ye bağlı olarak değişir. Paketlerin çağırılmalara ait kanalı kullanabilmesi bakımından en kötü durum olan $\rho_1 \rightarrow \infty$ için bile hibrit sistemin 2. grup eşdeğeri olan $M/M/1$ ile aynı sonuçlar elde edilir.

Sonuçta, hareketli sınır düzeninin kullanıldığı hibrit bağlaşımlı bir sistemde, düşük-yük bölgesi için ρ_1 ne olursa olsun paket trafiğinin performansı eşdeğer ayrı sistemden bile daha iyidir ki bu da çok iyi bir sonuçtur.

Aşırı-Yük Bölgesi : (4.27.b)'deki bu bölgeye ait yaklaşık $\mu_2 E(T)$ ifadesindeki etkin terim $\alpha(\rho_2 - 1)$ 'dir. Gecikmenin bu terimle doğru orantılı olduğu ve $\alpha \gg 1$ olduğu dikkate alındığında, zaman gecikmesinin düşük-yük bölgesine göre çok büyük oranda arttığı göze çarpmaktadır.

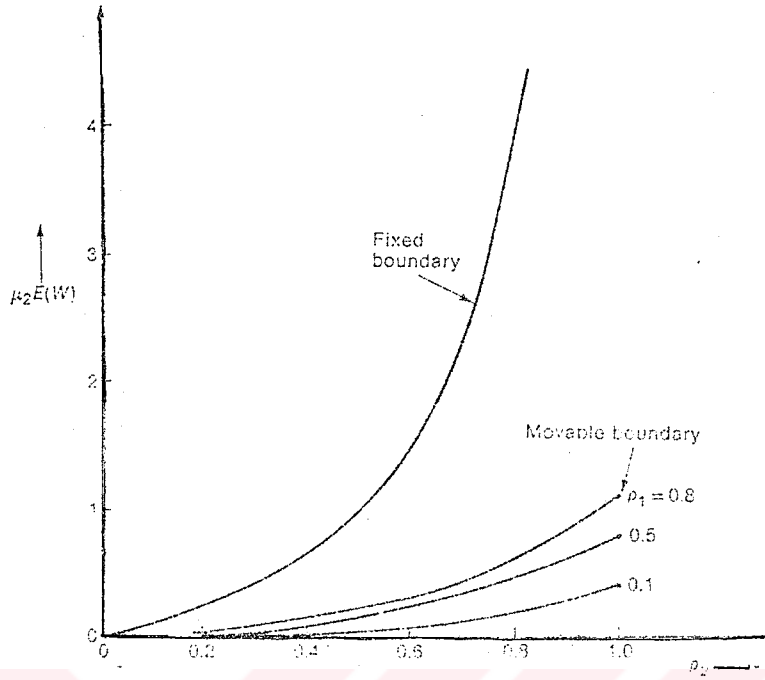
İki çalışma bölgesinin zaman gecikmeleri arasındaki bu önemli artış şu şekilde açıklanabilir. Maksimum paket kullanım oranı ($\rho_{2 \max}$), sabit sınırdaki değeri olan N_2 'den, hareketli sınır yapısının kullanımıyla $N-E(i)$ değerine çıkmaktadır. Böylece sabit sınırdaki paket kuyruğunun denge şartının dışında kalan ve bu yüzden sistemin çalışmasının mümkün olmadığı $N_2 \leq \rho_2 < N-E(i)$ bölgesi, hareketli sınırdaki paket trafiğinin çalışabileceği bir bölge (aşırı-yük bölgesi) olmaktadır. Ancak hareketli sınır yapısındaki aşırı-yük bölgesi her ne kadar paket kuyruğunun denge şartı içerisinde kalsa da bu bölgede, düşük-yük bölgesine göre çok büyük (neredeyse kabul edilemeyecek) değerlerde zaman gecikmeleriyle karşılaşmaktadır.

O halde, hareketli sınırın paketlerin zaman gecikmesini azaltma imkanından faydalanabilmek için paket trafiğinin sürekli olarak hareketli sınırın bu imkanı sunduğu düşük-yük bölgesinde kalması sağlanmalıdır. Bunun için de bir akış kontrolü mekanizmasıyla paket trafiğinin aşırı-yük bölgesine girmesini çeşitli şekillerde engellemek en uygun çözümdür. Böyle bir akış kontrolü mekanizmasının gerekliliğine Bölüm 4.4'te değinilmiştir.

Bu bölümde ele alınan hareketli sınır yapısı ile $N_1=N_2=1$ olan sabit sınır yapısının paket performansları açısından karşılaştırması Şekil 4-2'de görülmektedir. Sabit sınırdaki paket trafiği tamamen M/M/1 gibi davrandığı için bu şekil aynı zamanda hareketli sınırlı hibrit sistemin, 2. grup eşdeğeri olan aynı sistemle karşılaştırılması olarak da değerlendirilebilir.

Şekilde paket performansı, normalize kuyrukta bekleme süresi olan $\mu_2 E(w)$ ile temsil edilmektedir. Sabit sınırdaki $\mu_2 E(w)$, doğrudan M/M/1'deki değerine eşittir. Düşük-yük bölgesinde çalışan hareketli sınır yapısı için ise $\mu_2 E(w)$, (4.27.a)'dan yararlanılarak aşağıdaki gibi bulunur ($E(w) = E(T) - 1/\mu_2$) :

$$\mu_2 E(w) = \mu_2 E(T) - 1 = \frac{\rho_2 (\rho_2 + 2\rho_1 + \rho_1 \rho_2)}{a(1 + \rho_1)(2 + \rho_2)}, \quad \rho_2 < 1 \quad (4.28)$$



ŞEKİL 4-2 : Hareketli ve Sabit Sınırdaki Bekleme Sürelerinin Değişimi

Şekilden de görüldüğü gibi hareketli sınır yapısının kullanımıyla paket performansındaki asıl önemli iyileşme, -büyük ρ_1 'ler için bile- $\rho_2 > 0,5$ için sağlanmaktadır. Sabit sınırdaki maksimum paket kullanım oranı olan $N_1=1$ 'e yaklaştıkça ($\rho_2 > 0,5$) için kuyrukta bekleme süresinde önemli bir artış gözlenmektedir. Oysa düşük-yük bölgesinde çalışan hareketli sınır yapısında $E(w)$, a tarafından belirlendiği için ρ_2 ne kadar büyük olursa olsun, 1. grup trafikten gelecek ilave kanal kapasitesi, $E(w)$ 'yi önemli ölçüde düşürecektir.

ÖRNEK: Sayısal sonuçları görebilmek açısından bu bölümdeki hareketli sınır yapısı için 3. Bölüm'ün sonundaki örneğin değerlerini alalım.

Tablo 4-1.a'da, düşük-yük bölgesindeki $\rho_2=0,4$ için çeşitli ρ_1 değerlerine karşı düşen $E(T)$ 'ler görülmektedir. Düşük-yük bölgesinde $E(T)$, sırasıyla M/M/2 ve M/M/1'deki değerleri olan 10,4 msn ile 16,7 msn arasında değişmekte ve sistemin sabit sınır eşdeğeri olan M/M/1'e göre doğrudan ρ_1 tarafından belirlenen bir oranda azalmaktadır.

TABLO 4-1.a: $\rho_2=0,4$ İçin Düşük-Yük
Bölgesindeki Değişim

ρ_1	$E(T)(msn)$
0	10,4
0,1	10,6
0,5	11,4
1	12,1
∞	16,7

TABLO 4-1.b: $\rho_1=0,1$ İçin
Değişim

ρ_2	$E(T)$
0,4	10,6 msn
0,8	12,5 msn
1,2	2,0 sn
1,6	10,1 sn
1,9	436,1 sn

Tablo 4-1.b'de ise örnekteki $\rho_1=0,1$ için düşük-yük, $\rho_2 < N_2=1$, ve aşırı-yük ($N_2=1 \leq \rho_2 < N-E(i)=1,909$) bölgelerindeki çeşitli ρ_2 'ler için bulunan $E(T)$ 'ler görülmektedir. ρ_2 'nin aşırı-yük bölgesine düşen değerleri için $E(T)$ ' de gözlenen artış, bu bölgede çalışmanın paket performansı üzerindeki olumsuz etkisini (akış kontrolünün gerekliliğini) somut bir şekilde göstermektedir.

4.3 DÜŞÜK-YÜK BÖLGESİ İÇİN HAREKETLİ SINIR MODELİ

4.3.1 MODELİN ÖZELLİKLERİ

- 1) 1. ve 2. bölgelere tahsis edilen kanal sayılarıyla ilgili herhangi bir sınırlama yoktur. Yani $N_1, N_2 > 1$ 'dir.
- 2) Kanal sayılarıyla ilgili herhangi bir sınırlama olmadığı için analizlerde, yaklaşık analiz yöntemi kullanılmıştır.
- 3) Analizlerde kullanılan yaklaşım yöntemi geliştirilirken, hareketli sınır yapısının sürekli olarak düşük-yük bölgesinde çalıştığı kabul edilmiştir.
- 4) Bu bölümde elde edilen sonuçların kontrolü, $N_1=N_2=1$ için Bölüm 4.2'deki karşılıklarını verip/vermediklerine göre yapılır.

4.3.2 ANALİZLER

Tüm hareketli sınır yapılarında olduğu gibi burada da çağırma trafiği, paket trafiğinden etkilenmez. Bu durumda, 1. grup trafik blokajlı bir yapı olduğu için sistemin i durumunda olduğunu (sistemde i tane çağırma olduğunu) gösteren $P(i)$ olasılığı, N_1 hizmet organlı Erlang-B Formülü ile verilebilir.

$$P_B = P(i) = \frac{\rho_1^i / i!}{\sum_{j=0}^{N_1} \rho_1^j / j!} \quad (4.29)$$

Düşük-yük bölgesinde çalışmada, kuyrukta bekleme süresi $E(w)$ 'nin bulunmasında kullanılan yaklaşım yöntemi şu şartlar altında geliştirilmiştir :

1) a) Paket Kuyruğunun Denge Koşulu: $\rho_2 < N - E(i) = N - \rho_1(1 - P_B)$

b) Tüm Sistemin Denge Koşulu: $\rho = \rho_2 + \rho_1(1 - P_B) < N$

c) Sistemdeki Ortalama Boş Kanal Sayısı: $a = N - \rho = N - \rho_2 - \rho_1(1 - P_B)$

$$2) \alpha = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{1/\mu_1}{1/\mu_2} \gg 1$$

Eğer 1. grup daima bir i durumunda çalışıyorsa (N_1 tane kanaldan i tanesini kullanıyorsa) paketlerin kullanabileceği kanal sayısı $N-i$ olacaktır. Bu durumda, i durumuna ilişkin bir paketin kuyrukta ortalama bekleme süresi

$$E(w_i) = \frac{1}{\mu_2} \frac{E_{2,N-i}(\rho_2)}{N-i-\rho_2} \quad \text{olarak ifade edilebilir.} \quad (4.30)$$

Buradaki $E_{2,N-i}(\rho_2)$ ifadesi, hizmet organı sayısı $c=N-i$ olan Erlang-C Formülü'dür. Beklemeli halde c adet hizmet organının tamamının meşgul olması olasılığını veren bu formülün açık hali aşağıdaki gibidir :

$$E_{2,c}(\rho) = \sum_{k=c}^{\infty} P_k = \frac{\rho^c}{\rho^c + (c-\rho)(c-1)! \sum_{k=0}^{c-1} \rho^k / k!} \quad (4.31)$$

Bununla birlikte, hareketli sınır düzeni devamlı olarak tek bir i durumunda çalışmaz. i , N_1+1 mümkün değerinden herhangi birini rasgele alır. Paketlerin kuyrukta ortalama bekleme süresi, farklı durumlara ilişkin Erlang-C ifadeleri üzerinden ortalama alınarak bulunur. Bu durumda, normalize kuyrukta ortalama bekleme süresi olan $\mu_2 E(w)$ için yaklaşık ifade şu şekildedir :

$$\mu_2 E(w) = \mu_2 \sum_{i=0}^{N_1} P(i) E(w_i) = \frac{1}{a} \sum_{i=0}^{N_1} P(i) E_{2,N-i}(\rho_2) \quad (4.32)$$

4.3.3 KONTROLLER

1) (4.31)'deki $E_{2,c}(\rho)$ ifadesi, $c=1$ için $M/M/1$ 'e ve $c=2$ için de $M/M/2$ 'ye özdeş olmalıdır ($E_{2,c}(\rho)$ ifadesinin genel kontrolü).

$$a) (4.31)'den \ c=1 \text{ için } E_{2,1}(\rho) = \rho \text{ bulunur.} \quad (4.33)$$

$M/M/1$ için hizmet organının meşgul olması olasılığı, sistemde bir veya daha fazla (en az bir) bulunan olması olasılığına eşittir. Yani $E_{2,1}(\rho)$ 'nin $M/M/1$ 'deki karşılığı $P_{\geq 1}$ 'dir. $M/M/1$ için $P_{\geq 1} = 1 - P_0 = 1 - 1/(1+\rho) = \rho/(1+\rho)$ olarak bulunur ki, bu da yukarıdaki $E_{2,1}(\rho)$ 'nin aynısıdır.

$$b) (4.31)'den \ c=2 \text{ için } E_{2,2}(\rho) = \rho^2 / (2+\rho) \text{ bulunur.} \quad (4.34)$$

$M/M/2$ için hizmet organının meşgul olması olasılığı, sistemde iki veya daha fazla (en az iki) bulunan olması olasılığına eşittir. Bu olasılık değeri ise

$$P_{\geq 2} = 1 - P_0 - P_1 = 1 - \frac{2-\rho}{2+\rho} - \frac{\rho(2-\rho)}{2+\rho} = \frac{\rho^2}{2+\rho}$$

şeklinde bulunur. Bu ifade de yukarıdaki $E_{2,2}(\rho)$ 'nin aynısıdır.

2) (4.32)'deki $\mu_2 E(w)$ ifadesi, $N_1=N_2=1$ özel durumu için

$$\mu_2 E(w) = \frac{1}{a} (P(0) E_{2,2}(\rho_2) + P(1) E_{2,1}(\rho_2)) \text{ şekline gelir.}$$

$E_{2,1}(\rho_2)$ ve $E_{2,2}(\rho_2)$, sırasıyla (4.33) ve (4.34)'ten; $P(0)$ ve $P(1)$ ise $N_1=1$ için (4.29)'dan bulunur. Bu değerler yukarıdaki ifadede yerlerine konulduğunda

$$\mu_2 E(w) = \frac{\rho_2(\rho_2 + 2\rho_1 + \rho_1\rho_2)}{a(1+\rho_1)(2+\rho_2)} \quad (4.35)$$

$N_1=N_2=1$ için Bölüm 4.2.2'de tam analiz yönteminin kullanımıyla elde edilen (4.28) ile, (4.32)'deki yaklaşık ifadenin kullanımıyla elde edilen (4.35) ifadeleri tamamen aynıdır. Ancak bu uygunluk, (4.32)'deki yaklaşık ifadenin, daha çok sayıda kanal içeren hareketli sınır sistemleri için de tam analizlerden bulunan ifadelere eşit olup/olmayacağını saptamak için yeterli değildir.

4.3.4 SONUÇLAR

(4.32)'den $\mu_2 E(w)$ 'nin a ile ters orantılı olduğu görülmektedir. a , doğrudan paketler tarafından kullanılabilen sistemdeki ortalama boş kanal sayısını gösterdiği için bu, makul bir sonuçtur.

Hem (4.32)'deki $\mu_2 E(w)$ ifadesi üzerinde doğrudan yorum yapmanın zorluğundan ve hem de bu bölümde ele alınan yaklaşımın kullanımında sayısal sonuçları görebilmek açısından aşağıdaki örneği inceleyelim.

ÖRNEK : $N_1 = 2$, $N_2 = 3$ ve $\rho_{1(1)} = 0,6$ olan hareketli sınır yapısı için

1) Çağırma Blokaaj Olasılığı: (4.29)'dan $P_B = P(2) = 0,1$

2) Çağırma Trafik Tarafından Kullanılan Ortalama Kanal Sayısı:

$$E(i) = \rho_1(1-P_B) = 2 \cdot 0,6 \cdot (1-0,1) = 1,08 \quad (\rho_1 = N_1\rho_{1(1)})$$

3) Paketlerin Kullanabileceği Ortalama Kanal Sayısı:

$$N - E(i) = N - \rho_1(1-P_B) = 5 - 1,08 = 3,92$$

4) Sistemdeki Ortalama Boş Kanal Sayısı: $a = N - \rho_1(1-P_B) - \rho_2 = 3,92 - \rho_2$

5) Paketler İçin Normalize Kuyrukta Ortalama Bekleme Süresi:

$$(4.32)'den \quad \mu_2 E(w) = \frac{1}{a} (P(0) E_{2,5}(\rho_2) + P(1) E_{2,4}(\rho_2) + P(2) E_{2,3}(\rho_2))$$

Çeşitli ρ_2 değerleri için eşdeğer sabit ve hareketli sınır yapılarındaki $\mu_2 E(w)$ 'lerin karşılaştırılması Tablo 4-2'de görülmektedir. Bu tablodaki ρ_2 değerleri, $\rho_2 < N_2=3$ olmak üzere hareketli sınır için düşük-yük bölgesinde olma ve sabit sınır için ise doğrudan paket kuyruğunun denge şartlarını sağlamaktadırlar. $\mu_2 E(w)$ 'ler hareketli sınır için (4.32)'den, sabit sınır için ise hizmet organı sayısı $N_2=3$ olan Erlang-C Formülü'nden bulunur.

Bu tablodan, ρ_2 'nin tüm değerleri için paket performansının hareketli sınır yapısında daha iyi ($\mu_2 E(w)$ 'nin daha düşük) olması gibi tamamen önceden beklenen bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, iki değişik sınır yapısı arasındaki asıl fark, $\rho_2 \geq 2$ için gözlenmektedir. Özellikle ρ_2 'nin 2 ile 3 arasındaki değerleri için sabit sınır yapısında $\mu_2 E(w)$ 'nin hızla artmasının nedeni, kuyruğun denge koşulu olan $\rho_2 = N_2 = 3$ sınır değerine yaklaşılmasıdır. Buna karşılık, hareketli sınır yapısında düşük-yük ile aşırı-yük bölgelerinin sınırına yaklaşıldıkça $\mu_2 E(w)$, küçük ρ_2 'lere göre oldukça artmasına rağmen sabit sınırdaki değerlerine göre yine de daha düşüktür.

TABLO 4-2 : Hareketli ve Sabit Sınır Yapılarının $\mu_2 E(w)$ 'lerinin Karşılaştırılması

ρ_2	Hareketli Sınır	Sabit Sınır
1,0	0,006	0,05
1,5	0,019	0,16
2,0	0,06	0,5
2,5	0,26	1,4

4.4 AŞIRI-YÜK BÖLGESİ İÇİN AKIŞ KONTROLÜ

Bu bölümde, hareketli sınır yapısının aşırı-yük bölgesine girmesini engelleyip, sürekli olarak düşük-yük bölgesinde çalışmasını sağlayan bir akış kontrolü (flow-control) mekanizmasının gerekliliği üzerinde durulacaktır.

4.4.1 AŞIRI-YÜK BÖLGESİNDE ÇALIŞMA

Hareketli sınır düzeninin veri bölümü, deterministik bir sistem olarak ve paketlere ilişkin kuyruk uzunluğu dağılımı da λ_2 [paket/sn] geliş hızı ve $(N-i)\mu_2$ [paket/sn] ayrılış hızıyla sürekli bir süreç olarak ele alınabilir. Bu durumda kuyruğun uzunluğunu değiştiren (kuyruğu dolduran/boşaltan) net hız, şu şekilde ifade edilebilir :

$$r_i = \lambda_2 - (N-i)\mu_2 \quad i = 0, 1, \dots, N_1 \quad (4.36)$$

Buradaki i sistemdeki çağırma sayısını, $(N-i)$ ise paketlerin kullanabileceği kanal sayısını göstermektedir.

r_i 'nin durumuna göre paket kuyruğunun iki farklı davranışı vardır :

$$1) r_i > 0 \Rightarrow \lambda_2 > (N-i)\mu_2 \Rightarrow \rho_2 > (N-i)$$

Bu durumda, paket kuyruğunun uzunluğu r_i hızıyla zamanla doğrusal olarak artacaktır (kuyruk dolacaktır).

$$2) r_i < 0 \Rightarrow \lambda_2 < (N-i)\mu_2 \Rightarrow \rho_2 < (N-i)$$

Paket kuyruğunun uzunluğunun r_i hızıyla zamanla doğrusal olarak azaldığı (kuyruğun boşaldığı) bu durum, aslında kuyruğun denge koşuludur.

r_i 'nin değişimini ve çalışma bölgeleriyle olan ilişkisini daha rahat görebilmek açısından aşağıdaki sayısal örneği inceleyelim.

ÖRNEK : $N_1 = 10$ ve $N_2 = 5$ ($N = 15$) olan bir hareketli sınır yapısını ele alalım. Sistemdeki ortalama çağırma sayısı $i=5$ olsun ve geriye kalan beş ses kanalı da paketler tarafından kullanılsın. Bu durumda paketlerin kullanabileceği toplam kanal sayısı, $N-i = 15-5 = 10$ tane olacaktır.

$r_1 < 0$ 'dan $\lambda_2 < 10\mu_2$ ($\rho_2 < N-i=10$) için veri kuyruğu, sınırsız derecede dolmayacak ve dengeye ulaşacaktır. Kuyruğun dengede olduğu $\lambda_2 < 10\mu_2$ bölgesi için $\lambda_2 < 5\mu_2$ ($\rho_2 < N_2 = 5$) düşük-yük bölgesi ve $5\mu_2 \leq \lambda_2 < 10\mu_2$ ($N_2 = 5 \leq \rho_2 < (N-i) = 10$) ise aşırı-yük bölgesi olacaktır.

Aşırı-yük bölgesine düşen $\lambda_2 = 900$ paket/sn ve $\mu_2 = 100$ paket/sn değerlerini alalım. Bu durumda, aşırı-yük bölgesinde olunmasına rağmen $900 < 10 \cdot 100$ olduğu için kuyruk uzunluğu azalacak ve kuyrukta yığılmayla ilgili herhangi bir problemle karşılaşılmayacaktır.

Yukarıdaki hesaplamalarda kullanılan $i=5$, ortalama bir değerdir ve sistemin zamanın her anında $i=5$ durumunda çalıştığı anlamına gelmez. Doğaldır ki i , $0 \leq i \leq N_1$ arasında değiştiğine göre 5'den büyük değerler de alacaktır. Yukarıdaki λ_2 ve μ_2 değerlerine göre $r_1 < 0$ olması için i 'nin 6 veya daha küçük olması gerekir ($i \leq 6$). $7 \leq i \leq 10$ için ise $r_1 > 0$ olacaktır.

$i=7$ olan bir zaman aralığını göz önüne alalım. Bu durumda, $r_1 = 900 - (15-7) \cdot 100 = 100$ paket/sn hızıyla kuyruk dolacaktır. Eğer ortalama çağırma meşguliyet süresi $1/\mu_1 = 100$ sn ise -sadece tek bir çağırma için $i=7$ olduğunu düşünsek bile- bu süre boyunca kuyrukta 10.000 tane paket birikecektir.

$N_2\mu_2 \leq \lambda_2 < (N-i)\mu_2$ olan aşırı-yük bölgesinde çalışmada, i 'nin genelde aldığı değerler sonucu $r_1 < 0$ olabilir. Ancak bu durum, aşırı-yük bölgesinde çalışmada sürekli olarak kuyrukta aşırı bir birikme olmayacağını garantisini vermez. Nitekim yukarıdaki örnekte olduğu gibi çok kısa bir zaman aralığı için

bile i 'deki artış sonucunda $r_i > 0$ oluyorsa, $\alpha \gg 1$ olmasından dolayı bu kısa süre içerisinde kuyrukta çok fazla paket birikir. Zaten aşırı-yük bölgesi için bulunan ve 3. terimindeki α parametresinden dolayı oldukça büyük çıkan (4.27.b)'deki $\mu_2 E(T)$ ifadesi de bu son söylenilenleri tamamen desteklemektedir.

Ayrıca yukarıdaki durum, hem i 'nin $r_i > 0$ yapan en küçük değerinde ($i=7$) olması ve hem de çok kısa sürmesi bakımından $r_i > 0$ olan en iyi durumdur. Çağırma trafiğinin yoğun olduğu periyotlarda, i daha büyük değerleri daha uzun süreli olarak alacağı için kuyrukta biriken paket sayısı çok daha büyük değerlere ulaşacaktır.

λ_2 , $N_2\mu_2$ değerini aştığında (aşırı-yük bölgesine geçildiğinde) i 'nin artışı sonucu her an kuyrukta aşırı sayıda paket birikme tehlikesi olduğundan $r_i < 0$ olması yeterli değildir. O halde yapılması gereken, böyle bir riski hiç göze almamak için sürekli olarak düşük-yük bölgesinde kalmaktır.

4.4.2 AKIŞ KONTROLÜ

Gerek Bölüm 4.2.4'te ve gerekse bir önceki bölümde belirtildiği gibi aşırı-yük bölgesi, her ne kadar hareketli sınır yapısında paket kuyruğunun denge şartı içerisinde kalmaktaysada (sistemin çalışabileceği bir bölge olarak gözükmekteysede), bu bölgede her an paket performansının oldukça bozulma riski vardır. O halde, bir hareketli sınır yapısından en iyi verimi alabilmek için aşırı-yük bölgesine hiç girilmeyerek sürekli olarak düşük-yük bölgesinde çalışılmalıdır. Bu amaçla da bir akış kontrolü mekanizması kullanılır.

Paket trafiği arttığında, aşırı-yük bölgesine girmemek için r_i 'yi küçültmek gerekir. (4.36) incelendiğinde r_i 'nin, λ_2 ve i olmak üzere iki değişkene bağlı olduğu ve bunların her ikisiyle de doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. O halde aşırı-yük bölgesine girmemek için ya λ_2 ya da i küçültülmelidir.

Kullanılan akış kontrolü düzeneğiyle λ_2 kontrol edilmektedir. λ_2 , aşırı-yük bölgesine giriş için sınır olarak kabul edilen $N_2\mu_2$ değerine ulaştığında, bu sınır değeri aşmaması yani aşırı-yük bölgesine girilmemesi için

- i) Ya paketlerin geliş (λ_2) hızı azaltılır.
- ii) Ya da çağrılardaki sessizlik sürelerinden de yararlanma imkanı veren Bölüm 4.5'deki MB-2 yapısının kullanımıyla, λ_1 'de hiçbir sınırlama yapılmaksızın i 'nin azalması sağlanır.

4.5 ÇAĞIRMALARDAKİ SESSİZLİK SÜRELERİNDEN YARARLANMA

Hareketli sınır yapısında paketlerin kullanabileceği 1. bölgeye ait boş slotlar iki şekilde elde edilebilir.

- 1) 1. grup tarafından kullanılan slotlar, çağırma trafiğinin olup/ olmamasına göre belirlenir. Bu durumda paketler, içersinde sessizlik süreleri de olan doğal çağrılardan arta kalan slotları kullanırlar.
- 2) 1. grup tarafından kullanılan slotlar, tamamen bir çağırmadaki konuşma (talkspurt) bölümlerinden oluşurlar. Paketler 1. bölgeye ait normalde boş slotları kullandıkları gibi çağrılardaki sessizlik (silence) sürelerinin kazanımıyla elde edilen ilave slotlardan da yararlanabilirler.

Bu çalışmada, yukarıdaki 1. ve 2. tip hareketli sınır yapıları için sırasıyla MB-1 ve MB-2 notasyonları kullanılmıştır.

MB-2 için her şeyden önce çağrılardaki sessizlik ve konuşma bölümlerinin tesbit edilerek birbirinden ayrılması gerekir. Sayısal bir ortamda bu işleme "Sayısal Konuşma İnterpolasyonu (Digital Speech Interpolation, DSI)" adı verilir ve "Konuşma Etkinliği Dedektörü (Speech Activity Detector, SAD)

tarafından yerine getirilir. MB-2'ye dayanan bir hibrit bağlaşımlı sistemde, Şekil 2-1' deki çoğullayıcı, çoğullama ile birlikte DSI'ı da yerine getirir.

MB-2'de çağırılmalara çerçeveye yerleştirilmeden önce DSI uygulanır. Böylece t. çerçevede çağırılmaların kullandığı $T(t)$, $0 \leq T(t) \leq N_1(t)$, tane slotun tamamı sadece konuşma bölümlerinden oluşur. Paketlerin kullanabileceği slot sayısı, $N-T(t)$, MB-1'dekinden, $N-N_1(t)$ 'den, çağırılmalardaki sessizlik sürelerinin kazanımıyla elde edilen slot sayısı, $N_1(t) - T(t)$, kadar daha fazla olacaktır.

MB-2'nin MB-1'e göre bir takım üstünlükleri olacağı açıktır. Bunlar :

1) Çağırma trafiğinin çok yoğun olduğu periyotlarda, çağırılmalar kendilerine ait tüm kanalları kullanacakları ($i=N_1$ olacağı) için paketlere 1. bölgeye ait kullanacak boş kanal kalmaz. Bu durumda, zaten kullanım imkanı olmayan MB-1 ile elde edilen ilave bir kazanım da olmayacaktır. Oysa MB-2 bu durumda bile paketlere, çağırılmalara ayrılan kapasiteden yararlanma imkanı verir. Çünkü MB-2'nin kullanımı ile λ_1 'de hiçbir azalma olmaksızın i 'nin azalması sağlanır.

2) a) Çağırma trafiğinin çok yoğun olmasına karşılık, paket trafiği düşük yük bölgesinde ise makul uzunluktaki bir kuyruk için 2. bölgedeki kendilerine ait kanallar paketler için yeterli olabilir. Bu durumda, MB-1'in kullanım imkanı olmamasına rağmen, MB-1 ile gelecek kazanıma fazla bir ihtiyaç da olmayacaktır.

b) Ancak çağırma trafiğindeki yoğunluğa ilaveten paket trafiği de yoğunsa bir çağırmanın meşguliyet süresinin bir paketinkinden çok daha uzun olduğu da hesaba katıldığında MB-1'in kullanımında çok uzun paket kuyruğu oluşabilir.

Böyle bir durumda, MB-2'nin 1. seçenekte belirtilen avantajından dolayı paket

trafiğine ilişkin kuyruk gecikmesinde önemli bir iyileşme sağlanacaktır. Bir çağırma süresinin yaklaşık %60'ının sessizlik periyotlarından oluştuğu göz önüne alınırsa, bu iyileşmenin boyutu daha kolay anlaşılabilir.

3) MB-2 ile çağırımların sessizlik periyotları boyunca harcanan iletim kapasitesi, veri iletimine kazandırıldığından ortamının kullanım verimi artar.

Yukarıdaki 2. seçenekten de anlaşılacağı gibi zamanın her anında MB-2 kullanılmayabilir. Bunun için Bölüm 4.4.2'de belirtilen şekilde bir akış kontrolü mekanizması sonucunda SAD'ı devreye sokmak da makul bir çözümdür.

2. tip çerçeve yapısı için de paketlerin çağırımlardaki sessizlik sürelerinden yararlanmasını sağlayan esnek bir düzen kullanılabilir. Bölüm 3'te ayrıntılı bir şekilde incelediğimiz gibi 2. tip çerçeve yapısında paket performansı oldukça bozulmaktadır. 2. tip çerçeve yapısında böyle bir düzenin kullanımıyla sağlanan düzelme, hareketli sınırdaki MB-2'nin kullanımıyla elde edilenden daha fazla olacaktır. Ayrıca, bu çerçeve yapısında paket performansını düzeltmek için başka uygun bir çözüm de zaten mevcut değildir.

4.5.1 MB-2' NİN MODELLENMESİ

Her iki çerçeve yapısı için de bir önceki bölümde belirtilen düzenin kullanılması durumunda, bir çağırmadaki sessizlik ve konuşma bölümleri şu şekilde modellenebilir :

1) Bir çağırma için üç farklı durum söz konusudur. O halde, sistemdeki bir çağırmanın durumunu gösteren V raslantı değişkeni şu şekilde ifade edilir :

0 , Çağırma yok

$V = 1$, Çağırmanın konuşma bölümü

2 , Çağırmanın sessizlik bölümü

2) a) Sisteme gelen her çağırma bir konuşma bölümüyle başlamaktadır.

b) Bir çağırmanın içersindeki konuşma ve sessizlik bölümleri, rasgele bir şekilde birbirini takip etmektedir.

c) Bir çağırma, konuşma veya sessizlik bölümlerinin herhangi birindeyken sonlanabilir.

3) Sırasıyla $1/\alpha$ ve $1/\beta$ olan bir çağırmadaki konuşma ve sessizlik süreleri, negatif eksponansiyel dağılmaktadır. Bu durumda, α hızıyla sonlanan her konuşma bölümünden sonra bir sessizlik ve β hızıyla sonlanan her sessizlikten sonra da bir konuşma bölümü gelmektedir.

4) Gelen her çağırmanın içersinde mutlaka sessizlik bölümleri olması gerekmez. Bu durumda gelen bir çağırma içersinde sessizlik olması olasılığı π ile gösterilebilir.

5) Durum olasılıkları

$$P_{ij} = P_r(V=i, j) \quad i = 0,1,2 \text{ ve } j = 0,1,2,\dots \text{ şeklinde tanımlanır.}$$

6) a) Paket trafiği, $i = 0$ ve $i = 2$ için tamamen aynı şekilde davranır. Her iki durum için de paket trafiği, 3. Bölüm'deki çağırma öncelikli yapıda ortak kanalı kullanır (M/M/1 gibi davranır); 4. Bölüm'deki hareketli sınır da ise çağırmalara ait kanalı da kullanır (M/M/2 gibi davranır).

b) $i = 1$ için ise sistemin davranışı, diğer iki durumdan farklıdır. Bu durumda paket trafiği, 3. Bölüm'deki çağırma öncelikli yapıda ortak kanalı kullanmaz; 4. Bölüm'deki hareketli sınırda ise sadece kendi kanalını kullanabilir.

BÖLÜM 5

SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, ele alınan modeller çerçevesinde hibrit bağlaşmalı sistemlerin genel olarak performanslarının değerlendirildiği ve hibrit bağlaşmanın günümüzdeki kullanım alanlarının belirlendiği iki alt bölümde toplanmıştır.

5.1 HİBRİT BAĞLAŞMANIN PERFORMANSI

Öncelikle bu çalışmada ele alınan performans modellerinin uygulanabileceği sistemler üzerinde duralım. Bu modeller dikkatli bir şekilde incelendiğinde, gruplar için kullanılan bağlaşma tekniklerinin aslında modellere doğrudan bir etkilerinin olmadığı görülmektedir. Başka bir deyişle, sistemin bir gruba karşı davranışı, bu grubun devre veya paket bağlaşmalı olmasına göre değil, doğrudan çağırma veya paket olmasına göre belirlenmektedir.

Bu durum, tamamen incelenen bu performans modellerinin aslında daha genel durum olan senkron çağırma trafiği ile asenkron veri trafiğinin integrasyonu için geliştirilmiş olmalarının bir sonucudur. Çağırma trafiğinin devre bağlaşmanın ve veri trafiğinin de paket bağlaşmanın en sık karşılaşılan ve en tipik örnekleri olmaları, işin içersine modellemede hiçbir etkileri olmayan bağlaşma tekniklerini de sokmaktadır. Sonuçta, işi biraz daha özele indirgemekten başka bir şey olmayan senkron çağırma trafiğinin devre bağlaşmalı ve asenkron veri trafiğinin de paket bağlaşmalı olması, yukarıda belirtilen genel durumun modellemesi açısından herhangi bir sakıncaya sahip

olmadığı gibi uygulamada da geçerliliği çok fazla olan bir durumdur. Bölüm 2.1'in son paragrafında bahsedilenler, tamamen bu durumun bir sonucudur.

Buna göre, bu çalışmadan elde edilen sonuçların, aşağıdaki iki durumun da göz önüne alınarak değerlendirilmesi gerekir :

- 1) Sadece hibrit bağlaşma için geliştirilen performans modellerinin aslında daha geniş bir uygulama alanı vardır.
- 2) Bir hibrit bağlaşma yapısına ilişkin modelden elde edilen sonuçlar, bu yapıya tamamen eşdeğer olan genel senkron çağırma ve asenkron veri trafiklerinin integrasyonu için de aynen geçerlidir.

1. Bölüm'de hibrit bağlaşmanın tarihsel gelişiminden bahsedilirken son yıllarda ATM'e olan ilginin oldukça arttığı ve bunun sonucu olarak da hibrit bağlaşmayla ilgili çalışmalarda önemli bir azalma olduğu belirtilmişti. Gerçekten de ATM, gelecekteki genişbandlı sistemlerde farklı trafiklerin integrasyonu için hemen hemen tek yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, performans modellemesi için bu kadar gündemde olan bir teknik varken, senkron TDM'e dayanan yukarıdaki genel durumun veya bunun özel bir hali olan hibrit bağlaşmanın seçilmesinin başlıca nedenleri şunlardır :

- 1) Basitlik : ATM, trafik integrasyonu ve kapasite kullanım verimi açısından daha esnektir. Bununla birlikte, senkron TDM'e dayanan hibrit bağlaşma yapılarında farklı trafiklerin yönetim ve modellenmesi ATM'e göre çok daha kolaydır. ATM trafiğinin modellenmesindeki zorluğun temelinde bu trafiğin yığınsallık (burstiness) özelliği yatmaktadır.
- 2) Hibrit bağlaşmada kapasite kullanımındaki verimi arttırabilmek için çeşitli yöntemler (MB-2 gibi) geliştirilmiştir. Böylece bu alanda, ATM ile arasındaki fark kapatılmaya çalışılmıştır.

3) Hibrit bağlaşma için geliştirilen modeller, ATM trafiği için bir çıkış noktası olarak alınabilir. Çok daha karmaşık olan ATM trafiğinin modellenmesinde, hibrit bağlaşma için geliştirilen modellerden (özellikle MB-2'yi kullanan hareketli sınırla ilgili olanlardan) yararlanılabilir.

Hibrit bağlaşmalı bir sistemin genel performans değerlendirmesi için bu çalışmada -başta modeller olmak üzere- incelenen konulardan elde edilen sonuçlar, şu şekilde sıralanabilir :

Çağrılar İçin

Hibrit bağlaşmalı yapılardan çağırma performansı açısından en iyi sonuç, her iki sınır durumu için de 1. tip çerçeve yapısı ile çağrılarının öncelikli olduğu 2. tip çerçeve yapısı için elde edilir. Çünkü bu yapıların tümünde çağırma trafiği, paket trafiğinden hiçbir şekilde etkilenmez ve bu nedenle de 1. grubun performansı, eşdeğeri olan ayrı yapıdakiyle aynı olur.

İncelenen yapılar içersinde 1. grubun performansı açısından en olumsuz sonucu, çağırma trafiğinin paket trafiğinden etkilendiği FCFS hizmet disiplini 2. tip çerçeve yapısı verir. Bu durum için bile çağırma trafiğinin performansında, eşdeğeri olan ayrı sisteme göre çok önemli bir bozulma olmamaktadır.

Sonuç olarak hibrit bağlaşmanın kullanılmasıyla çağırma trafiğinin performansında önemli bir sorunla karşılaşılmaz.

Paketler İçin

2. tip çerçeve yapısı için çağrılarının meşguliyet süresinin paketlerinkinden çok daha uzun ($\alpha \gg 1$) olmasının olumsuz etkisinden dolayı paket performansı eşdeğer ayrı yapıya göre oldukça bozulmaktadır. Bu çerçeve yapısı için paket performansını düzeltmenin tek makul yolu, çağrılardaki sessizlik sürelerinden yararlanmaktır.

Her iki grubun da birbiri (özellikle α nın paket trafiği) üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak amacıyla çerçevelerin bir sınırla iki farklı bölgeye ayrıldığı 1. tip çerçeve yapısı kullanılır.

1. tip çerçeve yapısı için sabit sınırın kullanımıyla her iki grubun performansı da eşdeğerleri olan ayrı yapılardaki performanslarına eşit olur.

1. tip çerçeve yapısı için hareketli sınırın kullanımıyla paket trafiğinin performansı, eşdeğeri olan ayrı yapıdan bile daha iyi bir hale getirilebilir. Ancak bu düzelme, paket trafiğinin sadece düşük-yük bölgesinde çalışması için geçerlidir. Aşırı-yük bölgesi için yine $\alpha \gg 1$ olmasından dolayı her an kuyruğun aşırı sayıda paketle dolması riski olduğundan, bir akış kontrolü düzeneğiyle bu bölgeye hiç girilmeyip sürekli olarak düşük-yük bölgesinde kalınmalıdır.

Hareketli sınıra dayanan 1. tip çerçeve yapısının kullanımında paket performansı açısından en parlak sonuçlar, çağırımlardaki sessizlik sürelerinin de paket trafiğine kazandırılması (MB-2) ile elde edilir.

Sonuç olarak, hangi hibrit bağlaşma yapısı olursa olsun paket performansındaki eşdeğer ayrı sisteme göre olan bozulmanın tek nedeni, $\alpha \gg 1$ olmasıdır. α nın 2. grup üzerindeki etkisinin giderildiği tüm hibrit bağlaşma yapılarında, paket performansında önemli iyileşmeler sağlanmaktadır.

En çok karşılaşılan modeller gözönüne alınarak akış kontrolü, grupların geliş hızlarını sınırlama gibi özel yapılar kullanılmadan hibrit bağlaşmalı bir sistemin performansını genel olarak düzeltme yolları şu şekilde özetlenebilir :

Çağırma performansını düzeltmek için 1. tip çerçeve yapısında her iki sınır pozisyonu için de özel bir düzeneğin kullanımına gerek yokken, 2. tip çerçeve yapısı için çağırımların öncelikli olması gerekir.

Paket performansını düzeltmek için ise 2. tip çerçeve yapısında çağırımlardaki

sessizlik sürelerini paket trafiğine kazandırmaktan başka bir çözüm yoktur. 1. tip çerçeve yapısı için ise sabit sınır, bu yeterli değilse hareketli sınır (MB-1), eğer bu da yeterli değilse paketlere çağırımlardaki sessizlik sürelerinden de yararlanma imkanı veren hareketli sınır (MB-2) kullanılmalıdır.

5.2 HİBRİT BAĞLAŞMANIN KULLANIM ALANLARI

Performans modellemesiyle bu kadar ilgilendiğimiz hibrit bağlaşmanın günümüzdeki başlıca kullanım alanları şunlardır :

1) LAN

Yerel Alan Şebekeleri'nde (Local Area Network, LAN) hibrit bağlaşmayla "Hicom LAN CP (Circuit Packet Switching) Halkası" adı verilen LAN yapısında karşılaşılmaktadır. Devre ve paket bağlaşmalı hizmetlerin fiber optik bir transmisyon ortamı üzerinden iletimine imkan veren bu yapı, ISDN ve LAN yönelimli altşebekeler arasında bağlantı sağlanmasında ideal bir omurga (backbone) şebekedir.

Bir CP halkası, genelde aşağıdaki uygulamaları içeren şu iki temel bölümden oluşur :

1) Devre Bağlaşmalı Bölüm : Halkaya bağlanmış PABX (Private Automatic Branch Exchange) şebekeleri ile devre bağlaşmalı kamu şebekesinin düğümlerini içerir.

2) Paket Bağlaşmalı Bölüm : MAC (Medium Access Control) köprü fonksiyonlarıyla halkaya bağlanmış bayraklı halka (token ring) LAN'lardan oluşur.

Her iki bölüm için de iletim hızı 16 Mbit/sn'dir. Devre bağlaşmalı bölüm, 255 tane 64 kbit/sn'lik PCM-30 kanalından oluşur (kanallardan biri dahili fonksiyonlar için kullanılır). Paket bağlaşmalı bölüm ise devre bağlaşmalı

bölümden tamamen bağımsız bir şekilde IEEE'nin 802.5 tavsiyesine eşdeğer olan bir token ring LAN'dır.

Bir Hicom LAN CP halkası için temel parametreler ve bunların çoğunlukla karşılaşılan değerleri halka uzunluğu 100 km; halkaya bağlı istasyon sayısı yaklaşık 100; her iki bölüm için de iletim hızı 16 Mbit/sn ve ortalama paket uzunluğu ise 1500 byte şeklinde özetlenebilir.

Bu alanda hibrit bağlaşmanın bir diğer kullanım yeri ise IEEE'nin 802.9 tavsiyesiyle tanımlanan IVDLAN (Integrated Voice and Data LAN) arabağdaşımıdır. Çeşitli LAN'lar bu arabağdaşım üzerinden ISDN ile bağlantılı DQDB veya FDDI-2 gibi integre şebekelere bağlanır.

IVDLAN arabağdaşımında beş tane kanal vardır. Bunlar, kullanıcı bilgisi taşıyan iki tane ISDN'in 64 kbit/sn'lik B kanalı; işaretleşme bilgilerini taşıyan yine ISDN'in 16 veya 64 kbit/sn'lik D kanalı; 3,2 Mbit/sn'ye kadar çıkabilen ve görüntü iletiminde kullanılan C kanalı; 384 kbit/sn ile 3,584 Mbit/sn arasında değişen ve LAN arabağdaşımı için kullanılan P kanalıdır.

Bu kanallardan B ve C kanalları devre bağlaşmalı hizmetlere (senkron trafiğe); P ve D kanalları ise paket bağlaşmalı hizmetlere (asenkron trafiğe) tahsis edilir.

2) ISDN

Her şeyden önce bir integre şebeke olması bakımından ISDN, hibrit bağlaşma için ilk akla gelen ortamlardan biridir. Gerçekten de ISDN'in uçtan uca sayısal iletim imkanı vermesi ve çok farklı hizmetleri bünyesinde toplaması gibi temel özellikleri, hibrit bağlaşmayı ISDN'de kullanılan yöntemler arasına sokmuştur.

Hibrit bağlaşma, ISDN'in $nB+D$ genişband arabağdaşımlarından T-1

taşıyıcısına eşdeğer olan $23B+D$ arabağdaşımı için kullanılır. Bu çalışmada ele alınan çerçeve formatı da zaten bu duruma ilişkindir. Bu çerçeve formatına göre toplam iletim kapasitesi, ISDN'deki temel hız olan 64 kbit/sn'lik $N=24$ tane alt kanala ayrılır. Bunlardan B kanalları sayısal ses ve devre bağlaşmalı verinin; D kanalı ise paket bağlaşmalı veri ve işaretleşme bilgilerinin iletiminde kullanılır.

3) Mobil Haberleşme

Bu alanda hibrit bağlaşma, ses ve veri hizmetlerinin her ikisini de içeren TDMA (Time-Division Multiple Access) mobil radyo sistemlerinde kullanılmaktadır. Böyle bir sistemde ses hizmetleri için devre bağlaşma (senkron iletim); veri hizmetleri için ise paket bağlaşma (asenkron iletim) en uygun çözümdür.

Bir TDMA mobil radyo sisteminde çağırma trafiği, M/M/C/C kuyruk yapısıyla modellenir. Veri trafiği ise -doğasından gelen yığınsallık özelliğinden dolayı- en uygun protokol olan ALOHA'ya göre modellenir.

Bu çalışmada, hibrit bağlaşmayla ilgili en temel yapıların performans modellemesi üzerinde durulmuştur. Bu çalışmanın devamı olarak paket performansı açısından en uygun yapı olan MB-2'yi kullanan bir hibrit bağlaşma düzeninin modellenmesi; şimdiye kadar pek ele alınmamış (örneğin sınırın hareketinin çağırımlar lehine veya her iki yöne doğru da olduğu, değişken uzunlukta çerçevelerin kullanıldığı, v.b.) yapılara ilişkin performans modelleri veya en son aşama olarak ise ATM trafiğinin modellenmesi ele alınabilir. Ayrıca hibrit bağlaşmayla ilgili performans modellemesi dışında kalan çoğullama düzeni, iletim ortamının paylaşımı ve yönetimi, yönlendirme gibi konular da incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ATMACA, T. , PUJOLLE, G. and SHA, F. , "Performance Analysis of an Access Control Strategy in Integrated Networks", Computer Networks and ISDN Systems, vol.24, no.5, pp.421-434, August 1992.
- [2] BOLLA, R. and DAVOLI, F. , "A Two-Layer Optimization Structure for Access Control and Bandwidth Sharing in High-Speed Integrated Networks", Telecommunication Services for Developing Economies, J.Filipiak (Editor), ITC 22-27 April 1991 Seminar, pp.317-328.
- [3] FILIPIAK, J. , "Real Time Network Management", Amsterdam, Netherlands: North-Holland, 1991, pp. 97-100 and 373-378.
- [4] FISCHER, M.J. and HARRIS, T.C. , "A Model for Evaluating the Performance of an Integrated Circuit- and Packet-Switched Structure", IEEE Trans. Commun., vol.COM-24, pp.195-202, February 1976.
- [5] FISCHER, M.J. , "Data Performance in a System Where Data Packets Are Transmitted During Voice Silent Periods- Single Channel Case", IEEE Trans. Commun., vol.COM-27, pp.1371-1375, September 1979.
- [6] GHANI, S. and SCHWARTZ, M. , "A Decomposition Approximation for the Analysis of Voice / Data Integration", IEEE Trans. Commun., vol.42, pp.2441-2452, July 1994.
- [7] GITMAN, I. , HSIEH, W.N. and OCCHIOGROSSO, B.J. , "Analysis and Design of Hybrid Switching Networks", IEEE Trans. Commun., vol.COM-29, pp.1290-1300, September 1981.
- [8] KONHEIM, A.G. and PICKHOLTZ, R.L. , "Analysis of Integrated Voice / Data Multiplexing", IEEE Trans. Commun., vol.COM-32, pp.140-147, February 1984.
- [9] LEE, H.H. and UN, C.K. , "Performance Analysis of Statistical Voice/ Data Multiplexing Systems with Voice Storage", IEEE Trans. Commun., vol.COM-33, pp.809-819, August 1985.

- [10] LI, S.Q. and MARK, J.W. , "Performance of Voice / Data Integration on a TDM System", IEEE Trans. Commun., vol.COM-33, pp.1265-1273, December 1985.
- [11] MEEMPAT, G. and SUNDARESHAN, M.K. , "Modeling and Performance Evaluation of a Reinforced Movable Boundary Hybrid Switched Multiplexing Scheme with Adaptive Speech Interpolation", IEEE INFOCOM'90, San Fransisco, pp.858-863, June1990.
- [12] MOUSTAFA, M.S. and MARIE, M.I. , "Performance of Hybrid Switching Networks with Priority : Movable Boundary Case", Telecommunications Services for Developing Economies, J.Filipiak (Editor), ITC 22-27 April 1991 Seminar, pp.601-606.
- [13] SCHWARTZ, M. , "Telecommunications Networks : Protocols, Modeling and Analysis", Addison-Wesley Publishing Comp., 1987, pp.661-714.
- [14] SRIRAM, K., VARSNEY, P.K. and SHANTHIKUMAR, J.G. , "Discrete-Time Analysis of Integrated Voice / Data Multiplexers with and without Speech Activity Detectors", IEEE J. Select. Areas Commun., vol.SAC-1, pp.1124-1132, December 1983.
- [15] WILLIAMS, G.F. and LEON-GARCIA, A. , "Performance Analysis of Integrated Voice and Data Hybrid-Switched Links", IEEE Trans. Commun., vol.COM-32, pp.695-706, June 1984.
- [16] WOLFGANG, H. and WEBER, D. , "Performance Analysis of a Token Ring with Single-Token Access and Chaining", Teletraffic and Datatraffic in a Period of Change, A. Jensen and V.B. Iversen (Editors), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland),1991, pp. 1005-1010.
- [17] WU, G. and MARK, J.W. , "Capacity Allocation for Integrated Voice / Data Transmission at a Packet Switched TDM", IEEE Trans. Commun., vol.40, pp.1059-1069, June 1992.
- [18] ZHANG, Z. and RUBIN, I. , "Bounds on the Mean System-Size and Delay for a Movable-Boundary Integrated Circuit and Packet Switched Communications Channel", IEEE Trans. Commun., vol.42, pp. 90-99, January 1994.

EK A

MOMENT ÜRETEEN FONKSİYONLAR

Moment üreten fonksiyonlar, durum diyagramından elde edilen denge denklemlerinin yinelemeli (recursive) yollardan kolayca çözülemediği sonsuz kuyruk kapasiteli karmaşık sistemlerde, bu denge denklemlerinin çözümünde geniş ölçüde kullanılır. Bu tür çözümlerde, denge denklemleri moment üreten fonksiyonlar aracılığıyla ayrık-zamanlı sistemlerdeki fark denklemlerine karşı düşürülür. Bu fark denklemleri de kendi aralarında düzenlenilerek ve sınır denklemlerinden yararlanılarak bilinen yollardan çözülebilen matematiksel denklemlere dönüştürülür.

Hibrit bağlaşmalı sistemlerde, iki grup arasındaki etkileşimden dolayı denge denklemleri çoğunlukla yinelemeli yollardan çözülemez. Bu nedenle, hibrit bağlaşmalı sistemlerde paket kuyruğu da sonsuz kapasiteli olduğu için moment üreten fonksiyonlardan oldukça sık yararlanılır.

Olasılık teorisinde moment üreten fonksiyon (veya ayrık-zamanlı sistemlerde z dönüşümü) aşağıdaki gibi tanımlanır :

$$G(z) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n z^n \quad z : \text{Kompleks Bir Değişken} \quad (\text{A.1})$$

Moment üreten fonksiyonların önemli özellikleri şunlardır :

$$1) \quad G(1) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1 \quad (\text{A.2})$$

$$2) \quad G'(1) = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n = E(n) \quad (\text{A.3})$$

$$3) \quad \sum_{n=1}^{\infty} P_{n-1} z^n = z G(z) \quad (\text{A.4})$$

$$4) \quad \sum_{n=0}^{\infty} P_{n+1} z^n = z^{-1} (G(z) - P_0) \quad (\text{A.5})$$

$$5) G(z) = P_0 + \sum_{n=1}^{\infty} P_n z^n \quad (A.6)$$

Bu genel tanımla birlikte, hibrit bağlaşımlı sistemlerde kullanılan iki boyutlu moment üreten fonksiyonlar ise şu şekilde tanımlanır :

$$G_i(z) = \sum_{j=0}^{\infty} P_{ij} z^j \quad i = 0,1 \quad (A.7)$$

İki boyutlu moment üreten fonksiyonların bu çalışmada çok sık kullanılan temel özellikleri ise şunlardır :

$$1) \ a) \ G_0(z) = \sum_{j=0}^{\infty} P_{0j} z^j \quad b) \ G_1(z) = \sum_{j=0}^{\infty} P_{1j} z^j$$

$$2) \ a) \ \sum_{i,j} P_{ij} = \sum_{j=0}^{\infty} P_{0j} + \sum_{j=0}^{\infty} P_{1j} = 1 \quad (A.8)$$

$$b) \ G_0(1) + G_1(1) = 1 \quad (A.9)$$

$$3) \ a) \ \sum_{j=1}^{\infty} P_{0j} z^j = G_0(z) - P_{00} \quad (A.10)$$

$$b) \ \sum_{j=1}^{\infty} P_{0,j+1} z^j = z^{-1} (G_0(z) - P_{00} - zP_{01}) \quad (A.11)$$

$$c) \ \sum_{j=1}^{\infty} P_{0,j-1} z^j = z G_0(z) \quad (A.12)$$

$$4) \ \frac{d}{dz} G_0(1) = G_0'(1) = \sum_{j=0}^{\infty} j P_{0j} \quad \text{ve} \quad E(j) = G_0'(1) + G_1'(1) \quad (A.13)$$

$G_0(z)$ için verilen 3. ve 4. özellikler; $G_0(z)$ yerine $G_1(z)$, P_{0j} yerine P_{1j} , P_{00} yerine P_{10} ve P_{01} yerine de P_{11} gelerek $G_1(z)$ için de aynen geçerlidir.

$G(z)$ 'nin kuyruklaama sistemlerine uygulanışını, bu çalışmada yapılan kontrollerde ve karşılaştırmalarda çok sık kullanılan M/M/1 ve M/M/2 kuyrukları üzerinde görelim.

A.1 M/M/1 KUYRUĞU

Bu kuyruk için denge ve sınır denklemleri şu şekildedir :

$$(\lambda + \mu) P_n = \lambda P_{n-1} + \mu P_{n+1} \quad , \quad n \geq 1 \quad (A.14)$$

$$\lambda P_0 = \mu P_1 \quad (A.15)$$

Denge denklemindeki tüm terimler z^n ile çarpılıp $n \geq 1$ için toplam alınırsa

$$\sum_{n=1}^{\infty} (\lambda + \mu) P_n z^n = \sum_{n=1}^{\infty} \lambda P_{n-1} z^n + \sum_{n=1}^{\infty} \mu P_{n+1} z^n \quad (A.16)$$

Bu ifade, $G(z)$ 'nin tanımı, (A.4) ve (A.5)'in kullanımıyla şu hale gelir :

$$(\lambda + \mu) (G(z) - P_0) = \lambda z G(z) + \mu (z^{-1} (G(z) - P_0) - P_1) \quad (A.17)$$

Bu fark denkleminde $G(z)$, (A.15)'deki sınır denkleminde de yararlanılarak aşağıdaki gibi bulunur :

$$G(z) = \frac{P_0}{1 - \rho z} \quad , \quad \rho = \lambda / \mu \quad (A.18)$$

$$(A.2)'den \quad G(1) = \frac{P_0}{1 - \rho} = 1 \quad \Rightarrow \quad P_0 = 1 - \rho \quad (A.19)$$

Bu durumda M/M/1 için $G(z)$ 'nin en son ifadesi şöyledir :

$$G(z) = \frac{1 - \rho}{1 - \rho z} \quad (A.20)$$

Sistemdeki ortalama bulunan sayısı (A.3)'ten

$$E(n) = G^1(1) = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (A.21)$$

Little Formülü'den tüm sistem için normalize zaman gecikmesi ise

$$\mu E(T) = \mu \frac{E(n)}{\lambda} = \frac{E(n)}{\rho} = \frac{1}{1 - \rho} \quad (A.22)$$

P_n 'in bulunması için $|\rho z| < 1$ yakınsaklık şartı altında $G(z)$ 'nin paydası seriye açılırsa

$$G(z) = \sum_{n=0}^{\infty} (1-\rho)(\rho z)^n, | \rho z | < 1 \quad (A.23)$$

$G(z)$ 'nin tanımına göre P_n , (A.23)'teki z^n 'in katsayısıdır. Bu durumda en son olarak da P_n

$$P_n = (1-\rho) \rho^n \quad \text{olarak elde edilir.} \quad (A.24)$$

A.2 M/M/2 KUYRUĞU

Kolaylık olması açısından $G(z)$ 'yi doğrudan denge denkleminde değil, daha önceden bu kuyruk yapısı için yinelemeli yollardan bulunan aşağıdaki ifadeden yola çıkarak bulalım.

$$\frac{P_n}{P_0} = \rho \left(\frac{\rho}{2} \right)^{n-1}, n \geq 1 \quad \text{ve} \quad \rho = \lambda / \mu \quad (A.25)$$

(A.25)'in z dönüşümü alınırsa aşağıdaki ifade elde edilir :

$$G(z) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n z^n = P_0 + \sum_{n=1}^{\infty} P_n z^n = P_0 \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\rho}{2} z \right)^n \right) \quad (A.26)$$

(A.26)'daki serinin değeri yazılarak, $G(z)$ için şu ifade elde edilir :

$$G(z) = \frac{2 + \rho z}{2 - \rho z} P_0 \quad (A.27)$$

$$(A.2)'den \quad G(1) = \frac{2 + \rho}{2 - \rho} P_0 = 1 \quad \Rightarrow \quad P_0 = \frac{2 - \rho}{2 + \rho} \quad (A.28)$$

Bu durumda M/M/2 için $G(z)$ 'nin en son ifadesi

$$G(z) = \frac{2 + \rho z}{2 - \rho z} \cdot \frac{2 - \rho}{2 + \rho} \quad \text{şeklindedir.} \quad (A.29)$$

Sistemdeki ortalama bulunan sayısı (A.3)'ten

$$E(n) = G^1(1) = \frac{4\rho}{(2-\rho)(2+\rho)} \quad (A.30)$$

Little Formülü'den tüm sistem için normalize zaman gecikmesi ise

$$\mu E(T) = \frac{E(n)}{\rho} = \frac{4}{(2-\rho)(2+\rho)} \quad (A.31)$$

M/M/1 ve M/M/2 kuyrukları için moment üreten fonksiyonların kullanımıyla yukarıda elde edilen sonuçların tamamen aynıları, yinelemeli yollardan da bulunmuştu (M/M/2 için ρ olarak moment üreten fonksiyonlarla yapılan çözümde $\rho = \lambda / \mu$ alındığına dikkat ediniz).

M/M/1 ve M/M/2 için sadece bir alternatif çözüm yolu olan moment üreten fonksiyonların asıl faydası, hibrit bağlaşımda olduğu gibi karmaşık sistemlerdeki analizlerde ortaya çıkmaktadır.

Burada M/M/1 ve M/M/2 için moment üreten fonksiyonlar ile çözümlerin verilmesinin nedeni, hem bu fonksiyonların bir kuyruklama sistemine nasıl uygulandığını en basit yapılar üzerinde görmek ve hem de bu çalışmadaki analizlerin hemen hemen tamamında bu fonksiyonlardan yararlanıldığı için kontrol ve karşılaştırmaları rahatlıkla yapabilmek içindir.



ÖZGEÇMİŞ

Hakkı Asım Terci, 1971 yılında Uşak'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini burada tamamladıktan sonra 1988 yılında Gaziantep Fen Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nü Ekim-1992'de bitirdi. İTÜ Vakfı İngilizce Master Hazırlık Kursu'na devam ettikten sonra Eylül-1993'te İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.