

論 文

다중스롯호의 타임스롯 순서제어를 고려한 단일 버퍼 스위치의 호손율 특성에 관한 연구

正會員 成 檀 根\* 正會員 鄭 敏 永\* 正會員 姜 棋 元\*

A Study on the Blocking Probabilities of Single-buffered Switching Networks with Time Slot Sequence Integrity of Multi-slot Calls

Dan Keun SUNG\*, Min Young CHUNG\*, Ki Won KANG\* *Regular Members*

**要 約** 본 논문에서는 단일버퍼 스위치에서 다중스롯호의 수용에 따른 타임스롯 순서보전을 알아보고, 타임스롯 순서보전을 고려하여 트래픽혼합비의 변화와 타임스롯의 랜덤 탐색횟수의 변화, 그리고 타임스롯의 랜덤탐색방법에 따른 호종별 호손율 특성을 분석하였다. 이 결과는 TDX 1A/B 교환기와 같은 단일버퍼형식의 스위치망의 구성시 활용될 수 있을 것이다.

**ABSTRACT** In this paper we study the time slot sequence integrity(TSSI) of multi-slot calls in the single-buffered switching networks and analyze their traffic characteristics in terms of traffic mixture ratio, number of random searches for idle time slots, and their blocking probabilities. This result can be utilized in the design of wideband switching networks in the single buffered systems, such as TDX 1A/B switching systems, for accommodating multi slot calls.

I. 서 론

현대 정보화 사회의 하부구조인 전화통신망은 1980년대에 접어들면서 음성, 데이터, 화상등의 다양한 다중매체를 동시에 수용할 수 있는 종합 정보 통신망(ISDN)으로 나아가고 있다. 이러한 다양한 매체를 교환기에서 수용하기 위해 협대역 스위치망(narrowband switching network), 중대역 스위치망(wideband switching network), 광대역 스위치망(broadband switching network)등이 필요하며 이 각각의 스위치망은 별도로 구성될 수도 있으며 통합된 형태로 존재할 수

도 있다. 특히 비디오회의, 다량데이터(bulk data), 정지화상, 하이파이음향등의 서비스들은  $nx64Kb/s$ <sup>[1]</sup>의 대역으로 수용될 수 있으므로 이 들을 수용할 수 있는 중대역 스위치를 별도로 만들지 않고도 기존의  $64Kb/s$  타임스롯으로 구성 되는 협대역 스위치에서 하나의 호당 n개의 타임스롯을 할당함으로써 중대역 서비스의 수용이 가능하다.

지금까지의 이 중대역 서비스 수용에 관련된 주요 연구로는 다양한 비트 속도의 서비스를 수용하는 경우의 호손율 계산<sup>[2,3,4]</sup>, 호손율 계산의 PCM중계선에서의 트래픽특성<sup>[5,6,7]</sup>과 스위치에서의 트래픽 특성<sup>[8,9,10]</sup>이 연구되어 왔으며 Masuda<sup>[11]</sup>는 단일버퍼방식에서 입출력상태에서의 연속, 랜덤, 주기적 타임스롯 배치법등과 정

\*韓國科學技術院 電氣및 電子工學科  
Dept. of Electrical Engineering, KAIST  
論文番號 : 91-123 (接受1991. 7. 18)

터 프레임상에서의 주사(scanning)방식에 의한 공간 스위치상에서의 내부호손율 특성을 분석하였다.

한편, 본 논문에서는 단일버퍼방식 스위치에서 랜덤탐색에 의한 다중스롯호의 수용시 필요한 타임스롯 순서제어를 알아보고 타임스롯순서제어를 만족하는 조건하에서 트래픽혼합비의 변화, 타임스롯할당을 위한 탐색횟수의 변화, 타임스롯의 랜덤탐색방법에 따른 호종류별 시간-공간-시간 스위치상에서의 호손율특성을 분석한다. 2장에서는 시간-공간-시간 스위치상에서의 타임스롯순서보전 메커니즘을 알아보고 타임스롯 순서보전 조건을 제시하며 자세한 증명은 부록에 기술되어 있다. 3장에서는 단일버퍼스위치에서의 타임스롯 탐색방법, 탐색횟수, 트래픽 혼합비, 다중스롯호의 종류등에 따른 호손율을 포함한 트래픽 특성을 고찰하며 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## II. T-S-T 망에서의 다중스롯호 교환을 위한 타임스롯 순서보전

일반적인 시분할 교환기의 시간-공간-시간 스위치인 T-S-T 스위치망은 입력측에 하이웨이를 통하여 들어오는 타임스롯 정보를 메모리에 저장하였다가 원하는 시간에 읽어냄으로서 타임스롯 정보의 상호교환에 의하여 교환을 수행하는 시간스위치(time switch)를 복수개로 병렬연결하고, 입·출력측 시간스위치의 출력하이웨이상의 정보의 흐름(bit stream)을 상호교환하는 공간스위치(space switch)로 구성된다.

입출력 하이웨이 그리고 1차와 2차 시간 스위치에서의 타임스롯 정보의 교환 동작이 그림 1에 나타나있다. 입력 하이웨이상에서  $i$ 번째 타임스롯의 정보는 1차 시간 스위치에 순차적으로 기입한다고 가정하면 순차적인 번지계수기(sequential address counter)에 의해  $i$ 번째 번지에 기입된다. 여기에 저장된 정보는 타임스롯  $j$ 에서 읽혀져서 정터 하이웨이에 나타나고 공간 스위치에

서 교환된 후 타임스롯의 위치에 변동없이 원하는 2차 시간 스위치에서  $l$ 번째 번지에 랜덤하게 기입된다.  $l$ 번째 번지에 저장된 정보는  $l$ 번째 타임스롯이되면 출력 하이웨이로 출력이 된다. 입력 하이웨이상의  $k$ 번째 프레임에 들어온 타임스롯정보는 1차시간 스위치에서  $j < i$ 이면  $k$ 번째 프레임의  $i$ 번째 타임스롯에 기입되어  $k+1$ 번째 프레임상에서  $j$ 번째 타임스롯에 읽혀 나옴을 알 수 있고,  $i < j$ 이면  $k$ 번째 프레임상에서 기입과 읽어냄이 이루어진다. 마찬가지로 2차시간 스위치에서도  $j < l$ 이면  $k$ 번째 프레임상에 기입과 읽어냄이 이루어지며,  $l < j$ 이면  $k$ 번째 프레임상에서 기입되고  $k+1$ 번째 프레임상에서  $l$ 번째 타임스롯에서 읽어내게 된다.

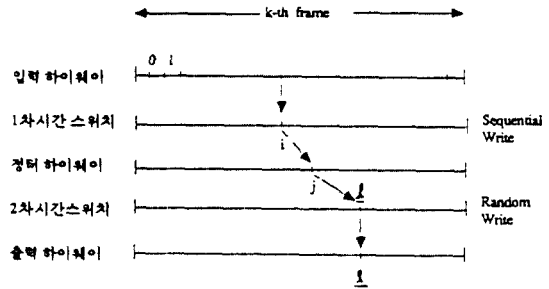


그림 1. T-S-T 스위치망에서의 교환동작 예  
Fig.1 A typical example of switching operation in T-S-T switching networks.

T-S-T 교환 동작원리에 따라서 입력측 하이웨이를 통하여 들어온 타임스롯 정보는 1, 2차시간 스위치와 정터 하이웨이상의 타임스롯 번호에 따라  $k$ 번째 프레임이나  $k+1$ 번째 프레임 혹은  $k+2$ 번째 프레임에 출력측 하이웨이상에 나타날 수 있다. 따라서  $n$ 개의 타임스롯을 가진 멀티스롯호가 발생할때 입력측 하이웨이상에 나타난  $n$ 개의 순서가 맞게 들어온 타임스롯 정보는 T-S-T 교환후  $n$ 개의 타임스롯 정보가 출력측 하이웨이상에 나타나게 되는데 출력측 하이웨이 상에 나타난  $n$ 개의 타임스롯 정보는 하나의 프레임내에 입력측 하이웨이에서의 타임스롯 순서와 일치하여 나타나는 경우 타임스롯 순서보전의 조건이

만족된다.  $n$ 개의 타임스롯을 가진 멀티스롯호가 발생할 때 입력 하이웨이상의  $k$ 번째 프레임에 나타난  $n$ 개의 타임스롯  $a_1, a_2, \dots, a_n (a_1 < a_2 < \dots < a_n)$ 이 순서에 맞게 들어오고 T-S-T 교환 후 순서보전된 타임스롯  $b_1, b_2, \dots, b_n (b_1 < b_2 < \dots < b_n)$ 이 입력과 동일한  $k$ 번째 프레임에 나타나거나  $k+1$ 번째 프레임에 나타나는 2가지경우가 그림 2에 나타나 있다.

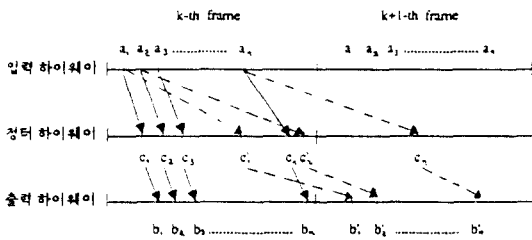


그림 2. 타임스롯 순서보전을 만족하는 교환 접속 예  
Fig.2 An example of time slot sequence integrity.

간단히 2배호를 수용하는 경우 타임스롯을 랜덤할당방식에 의해 지정하고 입력 타임스롯을  $a_1$ 과  $a_2 (a_1 < a_2)$ 라하고 출력 타임스롯을  $b_1$ 과  $b_2 (b_1 < b_2)$ 라 할때 타임스롯 순서보전의 조건을 만족하는 스롯할당방식은 아래와 같다.(그림 3참조)

- \* 두개의 비어 있는 입력측 타임스롯을 랜덤검색하여  $a_1, a_2 (a_1 < a_2)$ 를 구한다.
- \* 두개의 비어 있는 출력측 타임스롯을 랜덤검색하여  $b_1, b_2 (b_1 < b_2)$ 를 구한다.
- \* 정터 하이웨이 상의 2개의 타임스롯을  $c_1, c_2$ 라 할때

$$0 < c_i < \min(a_i, b_i), i=1, 2, \text{ 또는}$$

$$\max(a_i, b_i) < c_i < m-1, i=1, 2$$

을 만족하도록  $c_1, c_2$ 를 선택하거나(선택범위 I) 모든  $i$ 에 대하여  $a_i > b_i$  또는  $a_i < b_i$ 의 경우

$$\min(a_i, b_i) < c_i < \max(a_i, b_i)$$

가 되도록 선택한다(선택범위 II).

상기의 타임스롯 순서보전 조건을  $n$ 배호로 일반화한 경우 타임스롯 순서보전에 대한 증명은 부록에 있다.

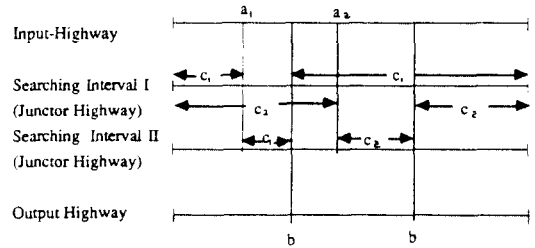


그림 3. 정터 하이웨이상의 2개의 타임스롯 검색 범위  
Fig.1 The searching range of 2 slot calls in the junctor highway.

### III. 단일 버퍼 스위치의 트래픽 분석

앞에서 언급한 타임스롯순서보전을 만족하는 단일버퍼 TST스위치에서의 혼합된 트래픽의 수용에 따른 호종별 호손율을 분석하기 위하여 입출력측에 각각 512 타임스롯수를 가지는 2개의 시간 스위치를 병렬 연결하고, 시간 스위치간의 상호 교환을 위한 2\*2공간 스위치로 구성된 간단한 TST 스위치 모델을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

이 모델에 대하여 입출력측 시간 스위치와 정터 하이웨이에서의 타임스롯 순서 보전을 만족시키는 범위내에서 비어있는 스롯을 랜덤 탐색 할 경우,  $n$ 배호( $nx64Kb/s$ )의 경우  $n$ 개의 스롯을 한번에 검색하여 모든 스롯이 비어있지 않은 경우 스롯탐색횟수를 증가시켜 제한된 스롯탐색횟수내에  $n$ 개의 비어있는 스롯을 찾는 그룹탐색방법과 하나의 스롯을 검색하여 비어있지않은경우 스롯탐색횟수를 증가시켜 제한된 스롯탐색횟수내에  $n$ 개의 비어있는 스롯을 찾는 개별탐색방법에 대하여 1배호와 2배호가 60 : 40으로 혼합되었을 때 비어있는 스롯탐색횟수의 증가에 따른 호종별 호손율 특성을 비교한 결과가 그림(4)에 나

타나있다. 두 종류(1배호, 2배호)의 트래픽이 60 : 40으로 혼합되었을 때 그룹탐색방법과 개별탐색방법 모두 비어있는 스롯탐색횟수 증가에 따라 1배호와 2배호의 호손율이 개선됨을 알 수 있으나, 그룹탐색방법에서는 비어있는 스롯의 횟수 64, 128, 256일때 타임스롯당 가해진 트래픽이 0.75~0.95 erl. 일때 1배호의 호손율은  $10^{-3}$  이하의 수준의 만족하지만, 1배호의 호손율에 비해 2배호의 호손율은 상대적으로 매우 커서  $10^{-2}$ ~ $10^{-3}$  수준을 만족하지 못 한다. 개별탐색방법에서 1배호와 2배호의 호손율 차이는 그룹탐색방법에 비하여 심하지 않으며, 특히 비어있는 스롯탐색 횟수를 256회로 하는 경우 스롯당 가해진 트래픽이 0.85 erl.에서도 1배호의 호손율은  $10^{-3}$  이하의 수준을 만족하고 2배호의 호손율은  $10^{-2}$ ~ $10^{-3}$ 의 수준을 만족한다. 이와같이 1배호를 희생시킴으로써 2배호의 호손율을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 (5)는 세종류(1배호, 2배호, 6배호)의 트

래픽이 80 : 10 : 10으로 혼합되었을 때 그룹탐색방법과 개별탐색방법에 비어있는 스롯탐색횟수의 증가에 따른 호종별 호손율 특성을 나타내고 있다. 세종류의 트래픽이 혼합된 경우에서도 두 종류의 트래픽이 혼합된 경우와 비슷한 호손율 특성을 볼 수 있으나, 그룹탐색방법에서의 6배호 호손율은 비어있는 스롯탐색횟수가 증가하여도 1에 가까우므로 개선되지 않는다. 그러나 개별탐색방법에서는 1배호와 2배호를 희생시킴으로써 상대적으로 6배호의 호손율이 개선되어 호종별 호손율의 관점에서 보면 혼합된 트래픽 환경하에서 다중스롯호( $nx64$  Kb/s) 수용시 그룹탐색방법보다 개별탐색방법이 좋을 수 있다.

앞에서 설명한 타임스롯 순서조건에 의한 랜덤 타임스롯할당의 경우 특정범위에 있는 타임스롯 지정으로 타임스롯당 이용도(utilization)가 균등하지 않게 된다. 그림 (6)은 위와 같은 교환기 시뮬레이션 모델에 대하여 비어있는 스롯탐색횟수가 64회 이고, 1배호와 2배호가 20 : 80으로 혼합

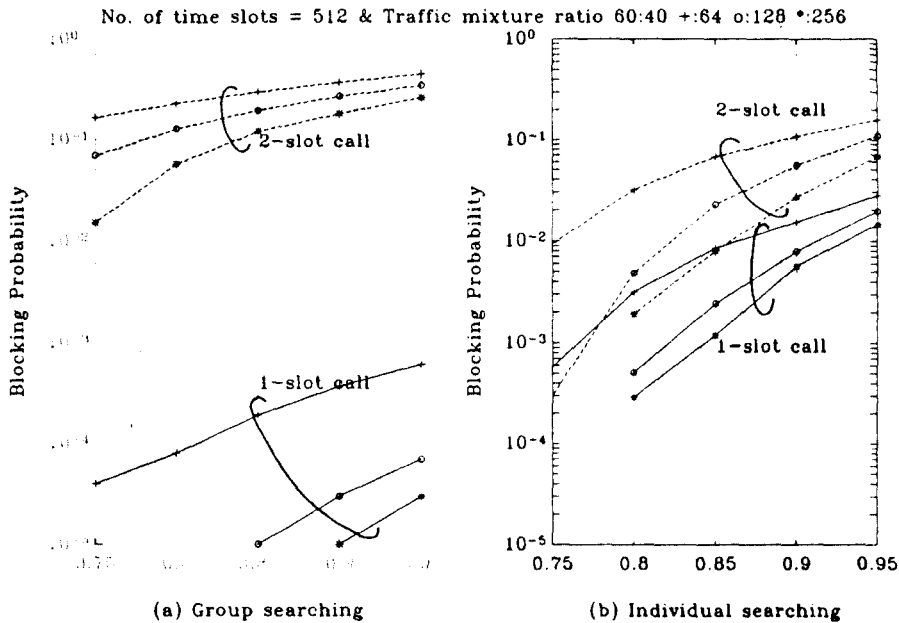


그림 4. 탐색횟수 변화에 따른 호종별 호손율 특성  
 Fig 4. Blocking probabilities of varying number of search idle time slots (Traffic mixture ratio 1-slot calls : 2-slot calls=60 : 40).

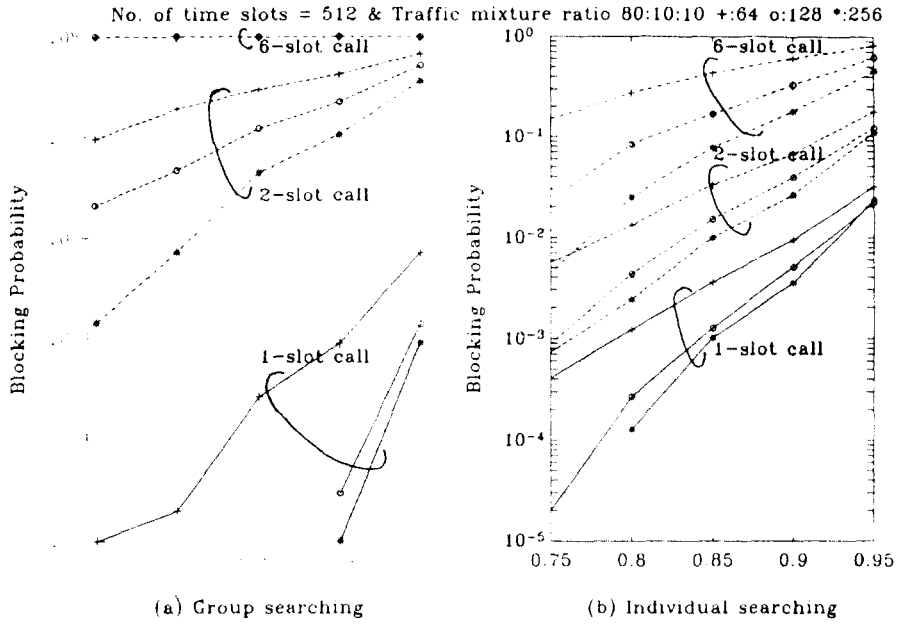


그림 5. 탐색할 수 변화에 따른 호출 성공률의 변화  
 Fig 5. Blocking probabilities of varying number of searching idle time slots (Traffic mixture ratio 1 slot calls : 2 slot calls : 6 slot calls = 80 : 10 : 10).

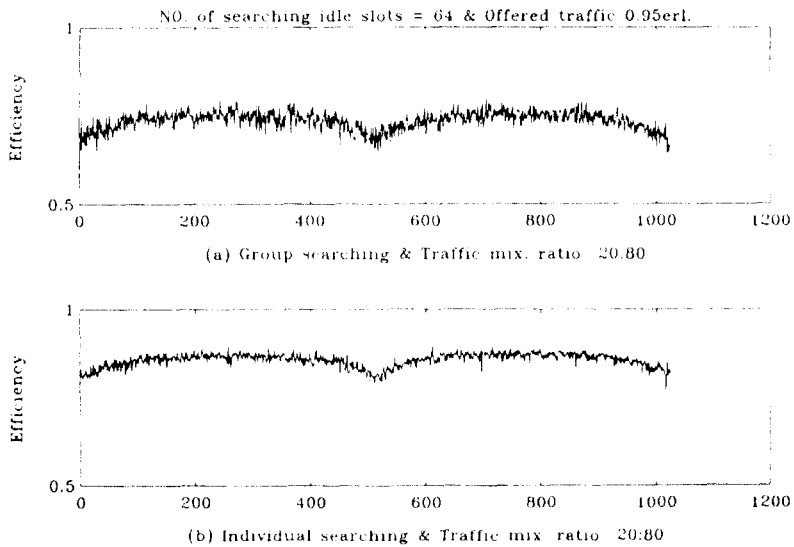


그림 6. 타임스롯당 이용률  
 Fig 6. Time slot utilization(erlang / time slot).

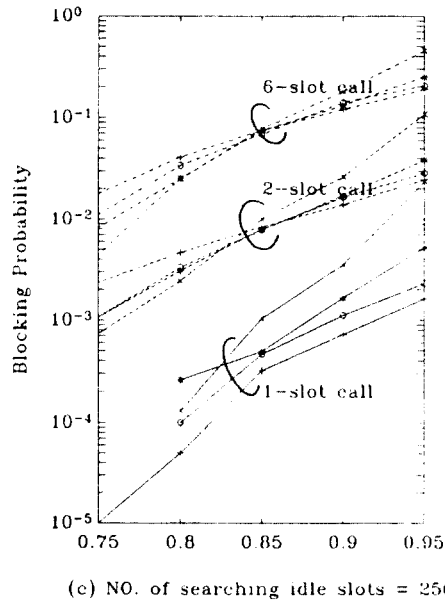
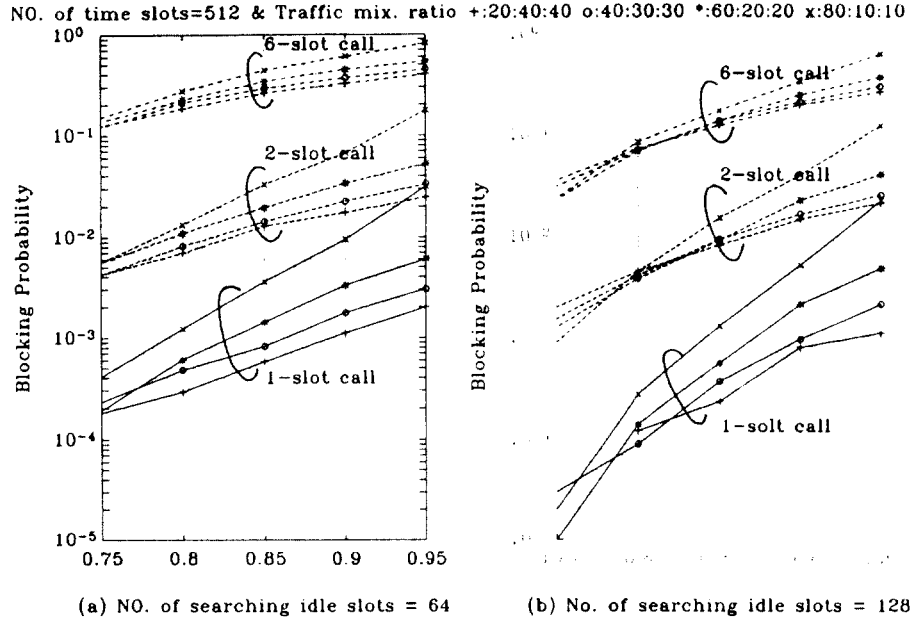


그림 7. 트래픽 혼합비 변화에 따른 호종별 호손율 특성  
 Fig 7. Blocking probabilities of varying traffic mixture ratio(individual searching).

되어 스롯당 0.95 erl.의 트래픽이 가해졌을 때 비어있는 스롯탐색방법에 따른 정터 하이웨이에서의 스롯당 이용도를 나타내고 있다. 여기서 수평축은 정터 하이웨이상의 스롯번호는 0-511, 512-1023의 2개의 부분으로 구분된다. 그룹탐색방법과 개별탐색방법에서 스롯당 이용도에 대한 지표로서 평균과 분산을 비교해보면 그룹탐색방법의 평균과 분산은 각각 0.73974,  $7.60250 \times 10^{-4}$ 이고, 개별탐색방법에서의 평균과 분산은 각각 0.85726,  $3.92774 \times 10^{-4}$ 으로써 스롯당 이용도면에서 그룹탐색방법보다는 개별탐색방법이 더욱 좋다. 분산은 채널의 이용상태변화를 나타내는 것으로 이상적으로 0이나 타임스롯순서보전 조건을 만족시키는 비어있는 스롯의 탐색범위제한에 기인하여 이와 같은 현상이 나타난다.

위와 같은 교환기 시뮬레이션 모델에 대하여 비어있는 스롯탐색횟수가 64, 128, 256인 개별탐색방법을 사용하였을 경우, 1배호와 2배호, 그리고 6배호 세 종류의 트래픽이 20 : 40 : 40, 40 : 30 : 30, 60 : 20 : 20, 그리고 80 : 10 : 10으로 혼합되어 제공되었을때 트래픽 혼합비에 따른 호종별 호손율 특성이 그림 (7)에 나타나 있다. 이 결과로 비어있는 스롯탐색 횟수가 증가함에 따라서 트래픽 혼합비에 상관없이 호손율이 개선됨을 볼 수 있으며, 특히 비어있는 스롯탐색횟수가 64에서 128로 증가할 경우에는 호손율의 개선을 현격하게 볼 수 있으나, 비어있는 스롯탐색횟수가 128에서 256으로 증가할 경우의 호손율 개선폭은 매우 작다. 또한, 스롯당 가해진 트래픽양이 클수록 스롯탐색횟수의 증가로 인한 호손율의 개선은 작다. 이러한 현상은 트래픽 혼합비가 80 : 10 : 10이고, 스롯당 가해진 트래픽이 0.85 erl.일 경우 비어있는 스롯탐색횟수가 64, 128, 256으로 변화할 때 스롯당 평균 이용도가 0.80819, 0.83222, 0.84594로 변화함을 고려하면 쉽게 이해할 수 있다. 호손율은 트래픽 혼합비, 가해진 트래픽, 시간스위치 크기, 그리고 비어있는 스롯탐색횟수 등에 영향을 받는데 타임스롯수가 512이고 비어있는 스롯탐색횟수가 256인 경우에도 6배호의 호손율이  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  수준을 만족하기 어렵다. 따라

서, 타임스롯수와 비어있는 스롯탐색횟수를 증가시키면 6배호의 호손율 특성이 만족할 만한 수준으로 될 것이다.

#### IV. 결 론

본문에서는 단일버퍼방식의 스위치망에서 다중스롯호( $n \times 64$  Kb/s)수용에 따른 타임스롯순서보전을 고려하였을 때 그룹 및 개별 스롯탐색방법과 비어있는 스롯탐색 횟수, 그리고 트래픽 혼합비에 따른 호종별 호손율을 알아 보았다. 단일버퍼방식의 스위치망에서 다중스롯호를 수용할 때 그룹탐색방법을 사용하면 1배호와  $n$  ( $n \geq 2$ )배호의 호손율 차이가 매우 커서 1배호의 호손율은  $10^{-3}$  이하의 수준을 만족하지만,  $n$  ( $n \geq 2$ )배호의 호손율은 비어있는 스롯탐색횟수를 증가시키더라도  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  수준을 만족시키기 어렵다. 그러나 개별탐색방법을 사용하면  $n$  ( $n \geq 2$ )배호의 호손율이 그룹탐색 방법에 비해 현저하게 좋아지며 타임스롯당 이용도 특성도 좋아짐을 알 수 있으며, 특히 스롯당 가해진 트래픽 0.75 erl. 이하에서는 트래픽 혼합비에 관계 없이 비어있는 스롯탐색 횟수를 256하면 1배호의 호손율은  $10^{-3}$  이하의 수준을 만족하고,  $n$  ( $n \geq 2$ )배호의 호손율은  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  수준을 만족시킬 수 있다. 그러나, 타임스롯수가 512인 경우 스롯당 가해진 트래픽 0.75 erl. 이상에서는 비어있는 스롯탐색횟수를 증가시키더라도  $n$  ( $n \geq 2$ )배호의 호손율은  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  수준을 만족시키기 어렵다. 다중호에 대한 서비스의 품질(grade of service)에대한 규격이 CCITT에서 아직 규정되어 있지는 않지만, 1배호의 경우 호손율이  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  정도의 규격을 만족해야 하므로 다중호의 호손율 규격을 1배호와 같은 규격으로 만족시키야 되는 경우 본 시뮬레이션의 연구 결과 타임스위치의 타임스롯수의 증가와 함께 타임스롯탐색횟수의 증가가 필요하다. 가해진 트래픽이 높을 경우 트래픽 혼합비의 변화에 따라 호종류별 호손율 특성이 크게 변화하는데, 트래픽 혼합비에 따른 호종류별 호손율

의 변화를 작게하기 위한 새로운 메카니즘 (mechanism)에 대한 연구와 다중호의 호손율 특성을 보다 개선 시킬수 있는 방안등에 대한 연구가 차후에 필요할 것으로 여겨지며 본 연구 결과는 TDX-1A/B 교환기와같은 단일버퍼방식의 시간스위치를 가진 시스템의 트래픽 특성을 고찰하는데 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

### <감사의 글>

본 연구는 한국전자통신연구소와 한국과학재단의 일부 지원에 의하여 수행된 것으로 상기 기관에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. J.W.Roberts and A.Hoang Van, "Characteristics of Services Requiring Multi-slot Connections and Their Impact on ISDN Design", 5-th ITC Seminar, Traffic Engineering for ISDN Design and Planning, 1987.
2. T.Wakahara, "Fast Algorithms for Blocking Probabilities Computation of a Variety of Speed Traffic", Paper of Technical Group of IEICE, SE 79-97, pp.1-8, 1979.
3. J.S.Kaufman, "Blocking in a Shared Resource Environment", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-29, No.10, pp.1474-1481, 1981.
4. D.K.Sung and S.H.Kim, "Computational Algorithms of Blocking Probabilities in the Multi-slot Connection Traffic and Their Applications", ICCS '88, pp. 30.3.1-30.3.5, 1988.
5. L.Katzschver and R.Scheller, "Probability of Data Traffic with Different Bit Rates Hunting One Common PCM-Channel", ITC 8, pp.525.1-525.8, 1979.
6. V.Ramaswami and K.A.Rao, "Flexible Time Slot Assignment : A Performance Study for Integrated Services Digital Network", ITC 11, pp.2.1.A3.1-2.1.A.3.7, 1985.
7. 성단근, 김승환, 김대영, "다원트래픽에서의 호손율 계산과 응용", 한국통신학회, Vol.14, No.1, pp.1-10, 1989.
8. K.Murakami, K.Masafumi, and A. Shinji, "Traffic Design for Time Division Wideband Switching Networks", ITC 11, pp.5.4.B.3.1-5.4.B.3.7, 1985.
9. T.Takahashi, "Time Slot Sequence Integrity for (Nx64)Kb/s Connection", IEICEJ, Vol. J69-B, No. 10, pp.1038-1045, 1986.
10. 성단근, 김승환, "다원트래픽 수용을 위한 협대역/중대역 스위치망의 구에 관한 연구", 한국통신학회, Vol. 15, No.4, pp341-345, 1990.
11. E.Masuda, "Evaluation of Traffic Characteristics of nx64 Kb/s Calls in a Time Division Switching Network Satisfying the Sequence Integrity between n Time-Slots", IEICEJ, Vol. J70-B, No.8, pp.919-927, 1987.



부 록

입력 하이웨이상에 나타나는 프레임이  $(0, 1, \dots, k, k+1, \dots)$  순으로 나타나고 한 프레임의 총 타임스롯수를  $N$ 이라 할 때  $n$ 배호에 대하여 입력측 하이웨이상의  $k$ 번째 프레임에 들어온  $n$ 개의 타임스롯  $a_1, a_2, \dots, a_n (a_1 < a_2 < \dots < a_n)$ 가 출력측 하이웨이상에 하나의 프레임상에서  $b_1, b_2, \dots, b_n (b_1 < b_2 < \dots < b_n)$ 의  $n$ 개의 타임스롯으로 순서가 맞게 나오는 경우의 타임스롯 순서보전의 조건을 만족시키는  $c_i (i=1, 2, \dots, n)$ 는 아래와 같다.

모든  $i$ 에 대하여  $a_i > b_i$  또는  $a_i < b_i$ 인 경우

$$\min(a_i, b_i) < c_i < \max(a_i, b_i)$$

이고,

모든  $i$ 에 대하여  $a_i > b_i$  또는  $a_i < b_i$ 이 아닌 경우

$$0 < c_i < \max(a_i, b_i)$$

또는

$$\min(a_i, b_i) < c_i \leq N-1$$

이다.

(증명) 입력측 하이웨이상에서의 임의의 타임스롯  $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 와 출력측 하이웨이상에서의 타임스롯  $b_i (i=1, 2, \dots, n)$ 에서 타임스롯 순서보전을 만족하기 위한 정터 하이웨이상의 타임스롯  $c_i (i=1, 2, \dots, n)$ 의 설정 범위는 다음과 같다.

(1)  $a_i > b_i$  일 때,  $k+1$ 번째 프레임에서 타임스롯 순서보전을 만족하는 경우와  $k+2$ 번째 프레임에서 타임스롯 순서보전을 만족하는 경우의 2가지가 있다.

i)  $k+1$ 번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전조건

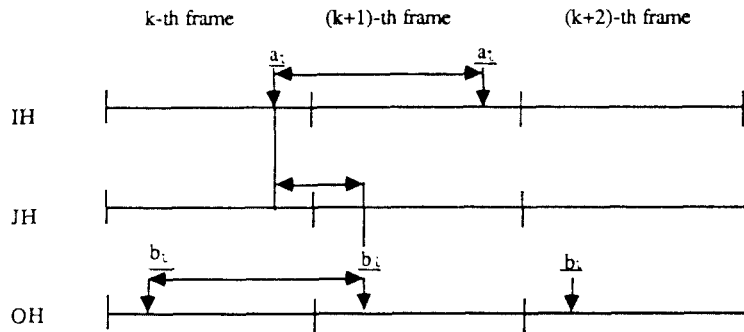


그림 A.  $k+1$  번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전조건 만족의 예  
Fig.A An example satisfying time slot sequence integrity in the  $(k+1)$  th frame.

$k$ 번째 프레임의 타임스롯  $a_i$ 를  $kN+a_i$ ,  $k+1$ 번째 프레임의 타임스롯  $a_i$ 를  $(k+1)N+a_i$ 와 같은 식으로 표현하고  $k$ 번째 프레임의 입력 타임스롯에 대해 입력측과 정터측 사이에서 허용가능한 정터측 타임스롯을  $c_{1i}$ , 출력측과 정터측 사이에서 허용가능한 정터측 타임스롯을  $c_{2i}$ 라 하고 입력-

출력-정터에서 타임스롯 순서보전조건을 만족하는 정터측 타임스롯을  $c_{i1}$ 라 할 때  $c_{i1}$ ,  $c_{i2}$ 의 범위는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} kN+a_i < c_{i1} < (k+1)N+a_i, \\ kN+b_i < c_{i2} < (k+1)N+b_i. \end{aligned}$$

그런데,  $c_i$ 는  $c_{i1}$ 과  $c_{i2}$ 의 공통집합이므로

$$\begin{aligned} kN+a_i < c_i < (k+1)N+b_i &\Leftrightarrow kN+a_i < c_i \leq (k+1)N-1 \\ &\text{또는 } (k+1)N \leq c_i < (k+1)N+b_i \end{aligned}$$

가 된다. 위의 오른쪽 식을  $N$ 으로 나눈 나머지(modulo  $N$ )는 한 프레임에서 타임스롯 순서보전을 만족시키는  $c_i$ 의 범위가 되므로  $c_i$ 는 아래와 같다.

$$a_i < c_i \leq N-1 \text{ 또는 } 0 \leq c_i < b_i$$

ii)  $k+2$ 번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전조건

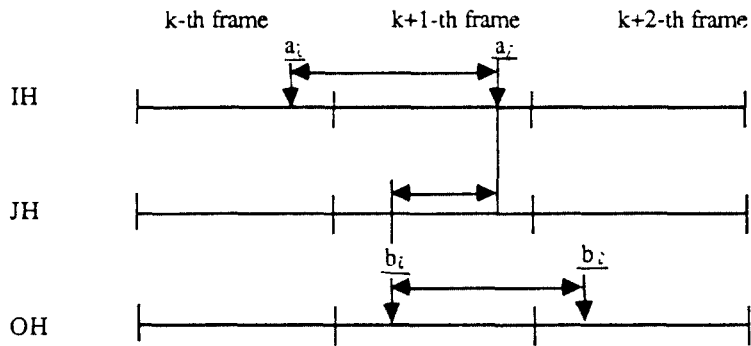


그림 B.  $k+2$  번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전조건 만족의 예  
Fig.B An example satisfying timeslot sequence integrity in the  $(k+2)$  th frame.

$c_{i1}$ 과  $c_{i2}$ 의 범위는

$$\begin{aligned} kN+a_i < c_{i1} < (k+1)N+a_i, \\ (k+1)N+b_i < c_{i2} < (k+2)N+b_i \end{aligned}$$

이므로,  $c_i$ 는

$$(k+1)N+b_i < c_i < (k+1)N+a_i$$

에서 한 프레임에서 타임스롯 순서보전을 만족시키는  $c_i$ 는

$$b_i < c_i < a_i$$

가 된다.

(2)  $a_i < b_i$  일 때  $k$ 번째 프레임에서 타임스롯 순서보전을 만족하는 경우와  $k+1$ 번째 프레임에서 타임스롯 순서보전을 만족하는 경우의 2가지가 있다.

i)  $k$ 번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전조건

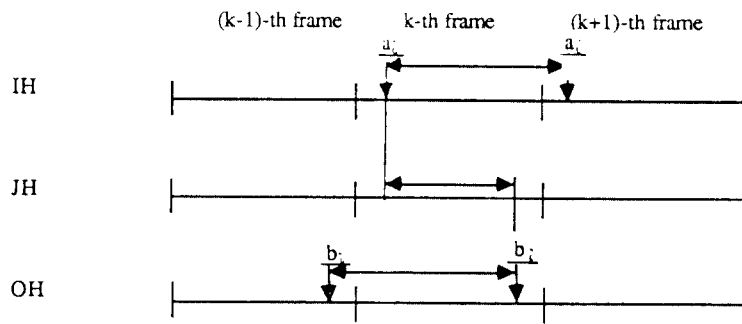


그림 C.  $k$  번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전조건 만족의 예  
Fig.C An example satisfying time slot sequence integrity in the  $k$  th frame.

$c_{11}$ 과  $c_{12}$ 의 범위는

$$kN+a_i < c_{11} < (k+1)N+a_i,$$

$$(k-1)N+b_i < c_{12} < kN+b_i$$

이므로,  $c_i$ 는

$$kN+a_i < c_i < kN+b_i$$

에서 한 프레임에서 타임스롯 순서보전을 만족시키는  $c_i$ 는

$$a_i < c_i < b_i$$

가 된다.

ii) k+1번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전조건

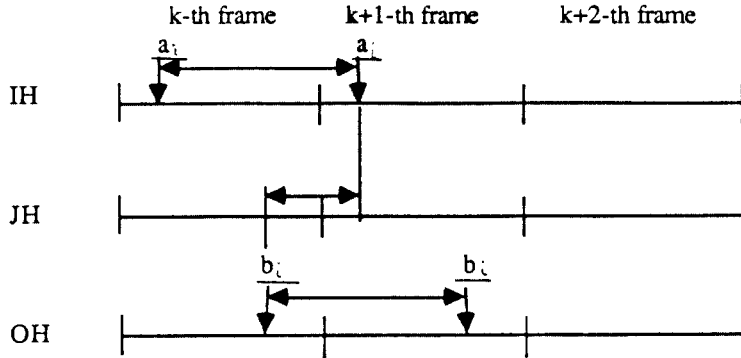


그림 D. k+1 번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전조건 만족의 예  
Fig.D An example satisfying time slot sequence integrity in the (k+1)-th frame.

$c_1$ 과  $c_2$ 의 범위는

$$\begin{aligned} kN+a_i < c_1 < (k+1)N+a_i, \\ kN+b_i < c_2 < (k+1)N+b_i \end{aligned}$$

이므로,  $c_i$ 는

$$kN+b_i < c_i < (k+1)N+a_i$$

에서 한 프레임에서 타임스롯 순서보전을 만족시키는  $c_i$ 는

$$b_i < c_i \leq N-1 \text{ 또는 } 0 \leq c_i < a_i$$

가 된다.

(3)위 (1), (2)로부터 하나의 타임스롯에 대해 타임스롯 순서보전을 만족시키는  $c_i$ 의 범위를 정리하면 다음과 같다.

i) k번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전을 만족시키는  $c_i$ 의 범위

$$a_i < b_i \text{ 일 경우 : } a_i < c_i < b_i \text{ [1]}$$

ii) k+1번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전을 만족시키는  $c_i$ 의 범위

$a_i < b_i$  또는  $a_i > b_i$  일 경우 :  $\max(a_i, b_i) < c_i < N-1$  또는  $0 < c_i < \min(a_i, b_i) [2]$

iii)  $k+2$  번째 프레임에서의 타임스롯 순서보전을 만족시키는  $c_i$ 의 범위

$a_i > b_i$  일 경우 :  $b_i < c_i < a_i [3]$

$n$ 배호에서 모든  $i$ 에 대하여  $a_i < b_i (i=1, 2, \dots, n)$  일 때  $a_i < c_i < b_i (i=1, 2, \dots, n)$ 를 만족하는  $c_i (i=1, 2, \dots, n)$ 가 [1]에 의해서 존재하므로 모든  $b_i (i=1, 2, \dots, n)$ 는 타임스롯 순서보전이 되어 출력측 하이웨이상의  $k$ 번째 프레임상에 나타내게 되고, 모든  $i$ 에 대하여  $a_i > b_i (i=1, 2, \dots, n)$  일 때  $b_i < c_i < a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 를 만족하는  $c_i (i=1, 2, \dots, n)$ 가 [3]에 의해서 존재하므로 모든  $b_i (i=1, 2, \dots, n)$ 는 타임스롯 순서보전이 되어 출력측 하이웨이상의  $k+2$ 번째 프레임상에 나타내게 된다. 모든  $a_i, b_i (i=1, 2, \dots, n)$ 에 대하여  $\max(a_i, b_i) < c_i < N-1$  또는  $0 < c_i < \min(a_i, b_i) (i=1, 2, \dots, n)$ 를 만족하는  $c_i (i=1, 2, \dots, n)$ 가 [2]에 의해서 존재하므로 모든  $b_i (i=1, 2, \dots, n)$ 는 타임스롯 순서보전이 되어 출력측 하이웨이상의  $k+1$ 번째 프레임상에 나타난다.



成 禮 根 (Dan Keun SHUNG) 正會員  
 1975년 : 서울대학교 전자공학과 졸업  
 1982년 : 텍사스주립대학 전기 및 컴퓨터 공학 석사  
 1986년 : 텍사스주립대학 전기 및 컴퓨터 공학 박사  
 1986년 : 한국과학기술대학 전자전산학부 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 조교수

1977~1980년 : 한국통신기술연구소(현 ETRI) 연구원



鄭 敏 永 (Min Young CHUNG) 副會員  
 1990년 : 한국과학기술원 과학기술대학 전기 및 전자공학과 졸업 (공학석사)  
 1990년~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 위촉연구원



姜 棋 元 (Ki Won KANG) 正會員  
 1968년 10월 16日生  
 1991년 2월 : 한국과학기술대학 졸업  
 1991년 1월~현재 : 한국과학기술원 위촉연구원