한국통신학회 1983년도 추계학술발표회 논문집 (1983. 10. 29)

컴퓨터 통신 네트워크 에서 링크의 용량 배정

83337

○ 정 인 명　　강 창 언
연 세 대 학 교　　전 자 공 학 과

Link Capacity Assignment in Computer-Communication Networks

○ In Myoung JUNG　　Chang Eon KANG
YON SEI UNIVERSITY　　ELECTRONICS

Abstract

This paper presents a new method for the optimum Capacity assignment in store-and-forward communication networks under a total fixed-capacity constraints,

Any two link capacities needed in this method can have the desirable quantities and then other capacities can be obtained from the fixed two link capacities.

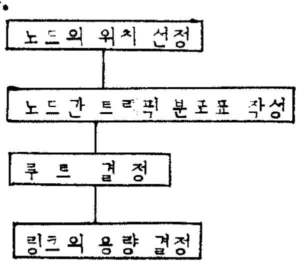
When the minimum and the maximum capacities that are the quantities of the conventional method are fixed, the total average time delay from the new method is almost the same as that from the conventional method.

And when the minimum capacity is fixed, the new method gives smaller average time delay.

1. 서 론

문명의 발달과 함께 컴퓨터의 발달과 아울러 많은 양의 정보를 먼 지역간에 되도록이면 빨리 교환할 필요를 느끼게 되었다. 따라서 컴퓨터를 이용한 통신은 필수불가결하게 되었고 많은 발전을 이루고 있다.

컴퓨터 통신 네트워크 설계는 다음과 같은 과정을 필요로 한다.



(그림 1 - 1) 네트워크 설계 순서

본 연구에서는 위의 과정중 네트워크 전체의 용량의 합이 일정할때 각 링크의 용량을 결정하는 문제에 초점을 맞추었다.

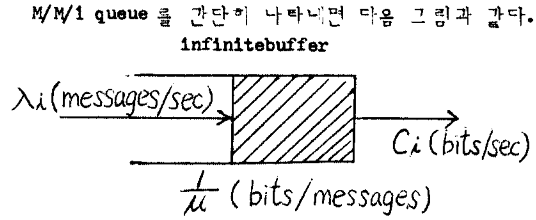
이때 모든 노드는 일반적으로 사용되는 M/M/1 queue 를 모델로 하였다.

M/M/1 queue 란 임의의 시간내에 들어오는 정보의 수가 Poisson 분포를 하며 각 정보의 길이는 지수 (exponential)분포를 하고 노드안에서 Buffer 의 수는 1개를 의미한다. 또한, 이 Buffer 의 정보저장 능력은 무한하다고 가정하며 이렇게 함으로써 간단한 해석을 할수가 있다.

모든 큐잉 이론은 정상 상태를 기준으로 하며 이때의 지연시간은 매우 중요한 의미를 가지고 있다.

2. 용어해설과 M/M/1 queue 의 해석

M/M/1 queue 를 간단히 나타내면 다음 그림과 같다.



(그림 2 - 1) M/M/1 queue

i : 특정 링크

$1/\mu$: 정보 1개의 평균 길이

λ_i : 단위시간에 링크에 들어오는 평균 정보수

C_i : 링크의 정보 전송 용량 (단위 시간당)

γ : 각 터미날에서 전체 노드로 들어가는 총 정보수 (단위시간당)

T_i : 링크 에서의 평균 지연 시간 (sec)

T : 전체 네트워크 에서 평균 지연시간(sec)

ρ_i : i 링크 에서의 평균 이용율

$\bar{n}$: 1개의 정보가 경유하는 평균 링크수.

일반적으로 정보길이 평균은 링크마다 약간 다르지만 편의상 동일하다고 가정하였다.

위의 용어로 부터

$\mu_i \triangleq \mu C_i$

라 하면 μ_i는 단위시간에 전송할수 있는 최대 정보수를 나타낸다. (messages/sec)

따라서 $T_s=1/\mu_i$ 은 정보 1개를 보내는데 드는 시간을 의미한다.(sec/mess.).

또한 i 링크의 평균이용율 ρ_i는 다음식으로 나타내진다.

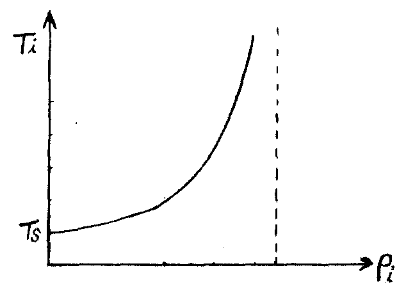
$$\rho_i = \lambda_i/\mu_i$$

같은 방법으로 $\sum\lambda_i=\lambda$, $\sum\mu_i=U$ 라고 하면 네트워크 전체의 평균이용율 ρ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\rho \triangleq \sum\lambda_i/\sum\mu_i = \lambda/U$$

큐잉(Queueing)이론으로 부터 i 링크에서 M/M/1 queue model 의 평균지연 시간 T_i 은

$$T_i = \frac{1}{\mu_i-\lambda_i} = \frac{T_s}{1-\rho_i} \quad \cdots\cdots (1)$$



(그림 2 - 2) 지연시간 T_i

위의 그림에서 ρ_i 가 1에 가까울수록 지연시간은 매우 커짐을 알수 있다.

일반적으로 i 링크에서의 지연시간 T_{ge} 는 다음과 같다.

$$T_{ge} = T_i + P_i + K_i$$

여기서 P_i 는 전파지연시간, K_i 는 다음 노드에 도착후 Buffer 에 도착할때까지의 시간을 나타내며 (그림 2-1)에서는 나타나 있지 않다.

P_i 와 K_i 값은 링크의 용량과는 무관한 상수이고 작은 값이므로 링크의 최적용량 배정시에는 고려하지 않는다.

(1)식과 같이 T_i가 주어질때 전체 네트워크의 평균지연시간 T 는 Little 의 공식으로 부터 구할수 있다.

$$T = \frac{1}{\gamma}\sum\lambda_i T_i = \frac{1}{\gamma}\sum\frac{\lambda_i}{\mu_i-\lambda_i} \quad ----(2)$$

위 식은 매우 중요한 의미를 가지며 각 링크의 용량을 배정하는데 이용된다.

용량을 배정할때 T 값을 최소화함은 필연적 과제이나 그런 경우 T_i 값의 산포도(spread)는 상대적으로 커진다. 산포도가 크다는 의미는 링크간 지연시간의 차가 크다는 뜻이며 어떤 링크의 지연시간은 허용치를 벗어날수 있다.

이런경우 링크 용량의 재조정이 필요하다.

산포도 S(T)는 다음식으로 정의된다.

$$S(T) = \left[\sum\frac{\lambda_i}{\bar{n}\gamma}(\bar{n}T_i - T)^2\right]^{\frac{1}{2}} \cdots\cdots(3)$$

3. 링크의 용량 배정법

전체 용량U 가 주어져 있을때 용량배정 방법에는 모든 링크에 동일한 용량을 배정하는 방법, 링크의 트래픽양에 비례하는 용량배정, T를 최소화하는 방법, S(T)를 줄이기위한 방법등이 있다.

(1) 각 링크에 동일한 용량을 배정하는 법

이런 경우 μ_i는 다음식으로 표시된다.

$$\mu_i = U/m \qquad m \text{ 은 총 링크수.}$$

(2) 트래픽양에 비례하는 용량 배정

$$\mu_i = \alpha_0\lambda_i$$

여기에서 $\alpha_0 = U/\sum\lambda_i$

(3) T 를 최소화하는 방법

$$\begin{cases} T = \frac{1}{\gamma}\sum\lambda_i T_i \\ \sum\mu_i = U\end{cases}$$

에서T 가 최소가 되는 μ_i는 Lagrangian Multiplier 방법을 써서 구하며 결과식은 다음과 같다.

$$\mu_i = \lambda_i + \alpha_1\lambda_i^{\frac{1}{2}} \quad ---(4)$$

여기에서 $U^* = U-\sum\lambda_i$ 라고 표시하면

$\alpha_1 = U^*/\sum\lambda_i^{\frac{1}{2}}$ 이다.

이 배정법을 Square-root 방법이라고 하며 이 경우 T 는 다음과 같이 된다.

$$T = (\sum\sqrt{\lambda_i})^2/\gamma U^* \quad ---(5)$$

(4) S(T)를 줄이기 위한 방법

Square-root 방법으로 용량을 배정하면 T는 최소로 되나 S(T)는 매우 큰 값을 나타낸다.

S(T)를 줄이기 위해 T 대신 다음식의 $T^{(k)}$ 를 사용한다.

$$T^{(k)} = \left[\sum \frac{\lambda_i}{\gamma} (T_i)^k \right]^{1/k}$$

주어진 k 에 대해 $T^{(k)}$를 최소화 시키는 μ_i 를 μ_{ik}라 표기하면 **Lagrangian Multiplier** 방법으로 부터 다음의 결과식을 얻을 수 있다.

$$\mu_{ik} = \lambda_i + \alpha_k \lambda_i^{\frac{1}{k+1}} \quad \text{---} (6)$$

여기서 $\alpha_k = U^* / \sum \lambda_i^{\frac{1}{k+1}}$ 이다.

(6)식에서 **k** = 0 이면 정보량에 비례하는 용량배정이 되고 **k** = 1 이면 **Square-root** 방법 즉 (4)식을 나타낸다.

k 가 커짐에 따라 μ_i는 λ_i의 영향을 덜 받게 되어 **k** = ∞ 이면 모든 링크에서의 지연시간은 동일하게 된다. **k** = ∞일때의 용량배정법은 **Chebyshev** 혹은 **minimax** 방법이라고 한다.

1. 새로운 용량 배정법.

전체 용량이 주어진 경우 μ_i는 λ_i의 함수이므로 이것을 일반적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\mu_i = \lambda_i + a_1\lambda_i^{\frac{n-1}{n}} + a_2\lambda_i^{\frac{n-2}{n}} + \cdots + a_{n-1}\lambda_i^{\frac{1}{n}} \quad \cdots (7)$$

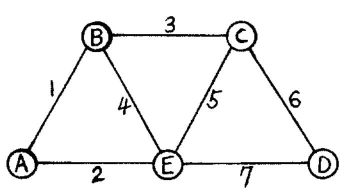
이식에서 $a_1, a_2, \ldots, a_{n-1}$ 은 상수로서 μ_i가 최적이 되도록 구해야 한다.
(7)식에서 **n** 가 클수록 최적용량배정에 접근할수 있다.
그러나 **n** 가 크면 최적의 상수값을 얻기가 복잡하므로 본 연구에서는 **n** =4일때의 근사식 μ_{iap}식을 사용하여 해를 구해 보았다.

$$\mu_{iap} = \lambda_i + a_1\lambda_i^{\frac{3}{4}} + a_2\lambda_i^{\frac{1}{2}} + a_3\lambda_i^{\frac{1}{4}} \quad \text{--} (8)$$

위식에서 $a_1 = a_3 = 0$이면 Square-root 식과 같아지므로 이때의 지연시간 T 는 최소가 된다.
또한 a_1, a_2, a_3 값을 변화시킴으로써 필요한 용량 배정을 할수 있다.

(1) μ_{ik} 식과 μ_{iap}식의 비교

위의 두식을 비교해 보기 위해 μ_{ik}식이 처음 발표된 네트워크를 사용하자



(그림 4 - 1) 네트워크

위 그림에서 ABCDE 는 지명(노드)를 표시하며 정보량은 다음표와 같다.

(표 1)

i	1	2	3	$\hat{4}$	5	$\hat{6}$	7	계
λ_i	3.15	3.64	3.55	0.13	0.82	9.95	3.88	25.12

위 표에서 4링크와 6링크는 각각 최저, 최고의 정보량을 보여준다.
따라서 **Square-root** 방법으로 용량배정을 하였을 경우 지연시간의 차가 대우 큼을 알수 있다.
이 지연시간의 차를 줄이기 위한 μ_{ik} 와 μ_{ik} 중 4링크와 6링크의 용량을 μ_{iap}식에 고정시킴으로써 얻어지는 결과를 (표2)에서 비교하였다.

ρ = 0.25 (표 2)

	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	S(T)	T(msec)
μ_{i1}	14.34	15.66	15.43	2.4	6.53	29.83	16.3	47.51	99.1
μ_{i2}	14.55	15.59	15.4	4.08	8.09	26.67	16.08	27.19	101.3
μ_{iap}	14.54	15.6	15.41	〃	8.06	〃	16.1	27.13	101.2
μ_{i4}	14.49	15.31	15.16	6.123	9.48	24.22	15.7	15.5	106.4
μ_{iap}	14.48	15.29	15.15	〃	9.54	〃	15.68	15.44	106.5
μ_{i8}	14.31	14.98	14.86	7.962	10.43	22.63	15.3	8.59	111.9
μ_{iap}	14.28	14.91	14.79	〃	10.69	〃	15.21	8.45	112.2
μ_{i16}	14.15	14.73	14.62	9.25	10.98	21.72	15.01	4.61	116.2
μ_{iap}	14.09	14.61	14.51	〃	11.44	〃	14.86	4.61	116.8
μ_{i32}	14.04	14.48	14.48	10.02	11.28	21.23	14.83	2.4	118.8
μ_{iap}	13.97	14.41	14.33	〃	11.88	〃	14.64	2.78	119.5
$\mu_{i\infty}$	13.92	14.41	14.32	10.9	11.59	20.72	14.65	0	121.8
μ_{iap}	13.81	14.19	14.12	〃	12.36	〃	14.38	2.03	122.9

		k=1	2	4	8	16	32	∞
ρ=0.4	T_k	198.14	202.5	212.8	223.8	232.2	237.5	243.7
	T_{ap}	〃	202.4	212.9	224.4	233.4	239	245.8
ρ=0.55	T_k	363.3	371.3	390.2	410.4	425.8	435.5	446.8
	T_{ap}	〃	371.2	290.4	411.5	427.9	438.3	450.7

$T_k \leftarrow (\mu_{ik})$, $T_{ap} \leftarrow (\mu_{iap})$

위의 표에서 알수있듯이 μ_{iap}식에서 구한 값과 μ_{ik} 식에서 구한 값이 거의 차이가 없음을 알수 있다.

(2) μ_{iap} 식의 활용과 그 장점.

μ_{ik} 식에서는 k값이 주어지면 링크마다 고정된 용량을 구할수 있는 반면 μ_{iap}식에서는 임의의 링크의 용량을 고정시켰을 때 나머지 링크의 용량을 변화시킬 수가 있고 따라서 전체 네트워크의 평균 지연시간을 변화시킬수가 있다.
다음 그림은 (그림 4-1)에서 **U** 가 주어졌을때 고정된 μ_4 에 대해 μ_6 의 변화에 대한 **T** 의 변화를

나타낸 것이다.

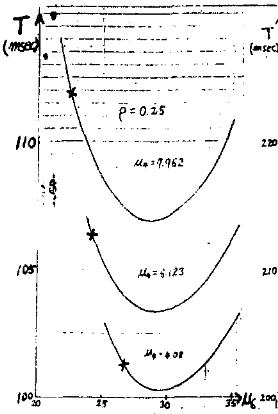


그림 4-2

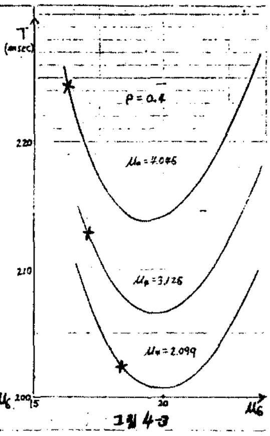


그림 4-3

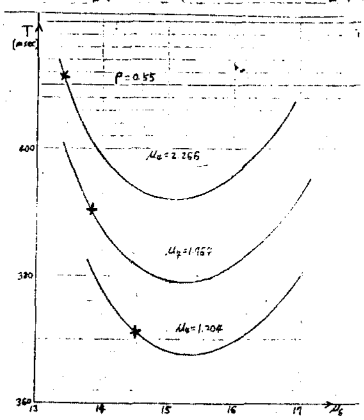


그림 4-4

(그림 4-2)는 $\rho = 0.25$, (그림 4-3)은 $\rho = 0.4$, (그림 4-4)는 $\rho = 0.55$에 대해 (표 2)에서 구한 μ_4를 고정시켰을 때 μ_6에 대한 T 의 변화를 나타내었다. 그림에서 X 표는 μ_{ik} 식에서 구한 μ_6 와 T 의 값을 표시한다. μ_6가 X 보다 작으면 산포도 S(T)는 물론 감소하나 지연시간이 매우 커짐을 알수있고 μ_6를 X 보다 어느 정도 크게 함으로서 T 를 최소화 할 수 있다.

5. 결 론

정보 교환 방식을 사용한 컴퓨터 통신 네트워크에서 전체용량이 주어졌을 때 각 링크의 용량 배정에 관해 살펴 보았다. 특히 최대지연시간을 나타내는 링크의 지연시간을 줄이기 위해 새로운 방법을 제시하였다. 최대지연 시간을 나타내는 링크의 용량을 필요한 값으로 고정시켰을 때 지금까지 알려진 방법에서는 나머지 링크의 용량과 평균 지연시간도 고정되나 새로운 방법을 사용함으로써 필요에 따라 나머지 링크의 용량을 임의로 변화시킬수 있고 또 평균지연 시간도 어느 정도 줄일수 있음을 보여주었다. 전체 투자비가 주어진 경우의 네트워크 설계시 이 방법을 직접 사용할수는 없으나 지금까지 사용된 방법을 보완할수 있으므로 더욱 적절한 용량 배정이 가능하다.

참 고 문 헌

(1) Bernd Meister, H.R. Muller, and Harry.R.Rudin. "New Optimization Criteria for Message-Switching Networks", IEEE Trans. June 1971.

(2) Mario Gerla, Leonard Kleinrock, "On the Topological Design of Distributed Computer Networks" IEEE Trans. Vol.com-25. No 1. January 1977.

(3) Leonard Kleinrock, Queueing Systems, Volumn 1. Theory. 1975.

(4) Mischa Schwartz, Computer-Communication Network Design and Analysis, Prentice-Hall. 1977