

## 지역망을 위한 최적 2중 루프 토폴로지의 설계와 분석

권 영 근\*

박 종 선\*

### 1. 서 론

루프 네트워크 토폴로지는 콘트롤 소프트웨어와 인터페이스가 용이하기 때문에 지역망을 위한 것으로서 바람직하다.

루프네트워크는 regular(대칭형)의 토폴로지이기 때문에 네트워크내에서 중심이 되는 노드가 필요없으며, 호스트 컴퓨터는 루프의 인터페이스하드웨어를 경유하여 네트워크에 연결된다. 단일 루프 네트워크에서는 개개의 노드가 주변노드에 연결되어 완전한 루프를 형성하며, 메시지들은 한 방향의 링크들을 따라 노드에서 노드로 전해진다. 특별한 라우팅이 필요없으며 임의의 노드는 자신에게 온 메시지들을 한 방향의 링크를 따라 다음 노드에게 보여주며 메시지는 원래의 목적지에 도달할때 까지 네트워크 주위를 돌게 되고 인터페이스 하드웨어는 자신의 호스트로 온 메시지를 알 수 있으면 된다.

루프내에서의 메시지 콘트롤 메카니즘으로는 delay insertion register 방법이 최선임이 (2)에 나와있다. 단일 루프의 문제점은 노드의 수가 증가하게 되면 네트워크의 신뢰도와

지연시간 단위시간당 효율(delay/throughput), 노드에서의 메시지 처리의 한계 문제가 따르게 된다.

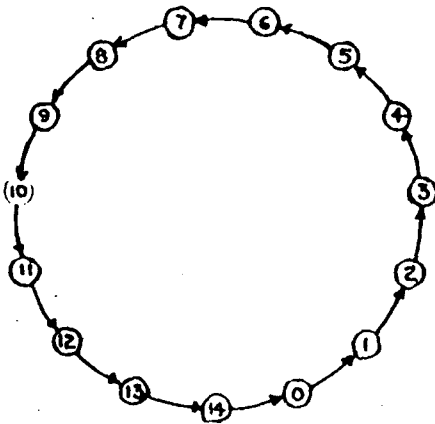
루프 네트워크의 신뢰도와 성능을 증진시키는 방법으로는 모든 인터페이스를 중앙에 집중시켜 성형(star)의 루프를 구성하는 방법과 다중루프(multiloop) 네트워크를 만들어주는 방안이 있는데 후자의 것이 더 나옴이 (2)에 나와 있다. 다중루프에서는 두 노드 사이의 경로가 여럿이기 때문에 adaptive routing을 할 수가 있으며 또한 그래프의 직경(diameter)이 줄어들게 되어 신뢰도와 지연시간 면에서 큰 진전이 있기 때문이다.

네트워크에 걸리는 교통량(traffic)이 증가하게 되면, 임의의 메시지가 네트워크에 들어와서 나갈 때까지 걸리는 지연시간은 메시지의 큐잉(queueing)에 크게 좌우되기 때문에 큐잉 모델을 이용, 성능을 분석하며, 또한 모델링 방법에 있어서는 (4)에 나와 있는 바와 같이 Bux and Shlatter의 방법이 최선이기 때문에 이것을 택하겠다. 본 논문에서는 Bux, Shlatter의 방법에 의해 단일 루프, DDLCN, 최적이중 루프들의 성능을 비교해 본다.

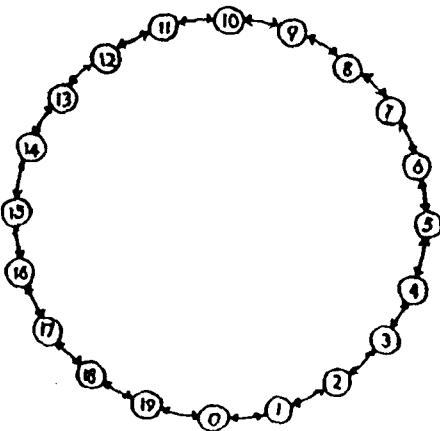
\* 공군사관학교

## 2. 이중 루프 네트워크의 구조

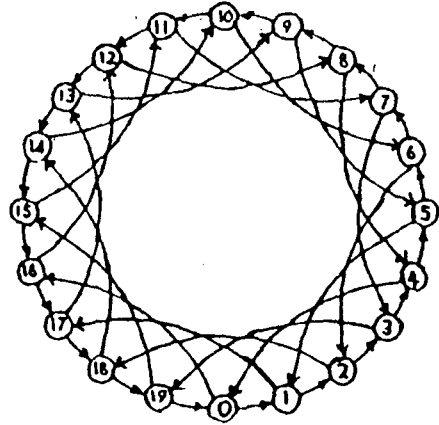
단일 루프와 DDLCN은 각각 (그림 1), (그림 2)에 나와 있는 바와 같으며 최적 이중 루프란 (그림 3)과 같은 형태인데 보는 바와 같이 임의의 노드에서 전방향으로 채널이 연결됨과 동시에 후방향으로 적절한 간격 S만큼 떨어져서 연결되어 있음을 볼 수 있는데 최적 이중 루프는 그래프의 직경이 최소가 되도록 S를 잡아 줌으로서 만들어 진다. 이중 루프가 최적이 되기 위해서는  $S = \lfloor \sqrt{N} \rfloor$ 가 되어야 함이 (2)에 나와있으며 여기서 N은 그래프의 노드의 수이다.



(그림 1) 노드수가 15인 단일 루프



(그림 2) 노드수가 20인 DDLCN



(그림 3) 노드수가 20인 최적 이중 루프

그래프의 한 예로서 노드의 수가 25인 경우를 가정한다. 노드가 차례대로 번호가 붙여져 있다면 임의의 두 노드 X와 Y 사이의 최단 경로는  $n_1$  번의 후 방향(긴 링크)과  $n_2$  번의 전 방향(짧은 방향)을 지남에 의해 도달하게 되는데 여기서

$$n_1 = \lceil (X-Y) \bmod N/S \rceil \bmod S$$

$$n_2 = (X-Y) \bmod S$$

이며 일반적으로  $\lceil k \rceil$ 는 k보다 작지않는 최소 정수를 의미한다.

최적 이중루프에서의 라우팅 알고리즘은  $n_1$  번의 긴 링크를 다 지난후에  $n_2$  번의 짧은 링크를 지나는 고정된 라우팅 방법과, 채널에 메시지가 도착하여 출력 채널의 부하(load)가 작은 쪽으로 routing을 선택하는 경우, 그리고 목적지까지 최단의 거리를 취하면서 랜덤하게 경로를 선택하는 경우를 비교 사용하였다.

## 3. 성능분석

### 3-1 네트워크 모델링

본 논문에서의 네트워크는 아래와 같이 작용한다.

1) 개개의 노드에서 나가는 링크에는 쉬프

트래지스터로 되어 있는 관련 버퍼가 있다.

2) 어느 링크에서 들어온 메세지든 간에 메세지 헤드를 처리하면 즉시 적절한 대기 래지스트로 보내진다.

3) 나가는 대기 래지스트에서의 개개의 메세지의 처리는 먼저 들어온 것이 먼저 처리된다.

4) 개개의 링크의 처리 능력은 1M bits/sec이다.

5) 평균 메세지의 길이는 1000bit이며,익스포넨셜 분포를 따른다. 다시말해  $t_m = 1000 \mu s$ 이다.

6) 메세지 헤더의 길이는 10bits이다.

즉,  $t_h = 10 \mu s$ 이다.

7) 메세지는 유니폼 분포에 의해 목적지를 결정한다.

8) 네트워크에의 메세지의 도착은 포아손 분포를 따른다.

Bux와 Schlatter의 논문에서 그들은 메세지가 링크  $i-1$ 에서 링크  $i$ 에 있는 다음 큐(queue)로 가면서 겪는 추가의 지연 시간을 고려했다.

(그들이 생각했던 네트워크는 단일 루프였기 때문에 링크들이 순서적으로 숫자가 매겨져 있었다. 이중 루프에서는 다음 번째의 링크란 메세지가 도착한 노드로 부터 나가는 링크중의 하나 일수 있지만 편의상 그들이 사용한 표기법을 따른다).

이러한 추가의 지연시간은 메세지 헤더의 처리시간과  $i-1$ 번이 아닌 다른 링크에서 링크  $i$ 의 큐에 들어오는 교통량에 의한 링크  $i$ 에서의 대기에 기인하며  $T_{i,s}^{sd}$ 를 노드  $s$ 에서 시작하여  $d$ 로 가는 교통량이 링크  $i$ 에서 감소해야할 지연 시간이라면 첫번째 링크에서

$$T_{i,s}^{sd} = \frac{t_m}{1-\rho_i} \quad \text{이고,}$$

첫번째가 아닌 링크에서

$$T_{i,s}^{sd} = t_h + \rho_{i-1,i} (t_m - t_h)$$

$$+ \frac{\rho_{i-1,i}}{1-\rho_i} t_m$$

이 되며 여기서  $\rho_{i-1,i}$ 는 링크  $i-1$ 를 지나지 않고 들어온 교통량에 의해 링크  $i$ 가 사용될 확률이다.

### 3-2 토프로지의 성능 비교

#### 3-2-1 단일 루프

단일 루프내에서의 메세지가 발생하여, 지나간 거리는 링크의 수가  $N$ 이라 하면 평균  $N/2$ 가 되며, 따라서 네트워크에 걸리는 총 부하  $\lambda$ 는

$$\lambda = r \times N/2$$

가 되고 이것이  $N$ 개의 링크에 균등히 분배될 것이므로 임의의 링크  $i$ 의 사용을

$$\rho_i \text{는 } \rho_i = \frac{r}{2} \cdot t_m \text{가 된다.}$$

또한  $r/N$ 의 교통량이 단위 시간당 노드  $i$ 에 들어올 것이기 때문에

$$\rho_{i-1,i} = \frac{r}{N} \times t_m \text{이 된다.}$$

#### 3-2-2 평균경로

DDLCN에 있어서의 평균 경로의 길이는

$\lfloor N^2/4 \rfloor / N - 1$ 이 되고 (2), 따라서,

$$\lambda = \frac{r}{(N-1)} \lfloor \frac{N^2}{4} \rfloor \text{이 되며}$$

이것이  $2N$ 개의 링크에 균등히 분배되므로

$$\rho_i = \frac{r \cdot t_m}{2N(N-1)} \lfloor \frac{N^2}{4} \rfloor \text{이 된다.}$$

$r/N$ 의 교통량이 노드  $i$ 에 들어와 두 방향으로 나누어 지므로

$$\rho_{i-1,i} = r \cdot t_m / 2N \text{이 된다.}$$

#### 3-2-3 최적 이중 루프

노드수가  $N = h^2 = 25$ 이라 하면

$\lambda_i = r/2(h+1)$ 가 되고 따라서,

$$\rho_i = r \cdot t_m / 2(h+1)$$

이 된다.

$m|s$ 를 임의의 메시지가 발생되어 목적지에 도착할때 까지에 있어 바로전에 긴 링크를 지나고 이번에 짧은 링크를 지난 평균 횟수라 하고,

$m|s'$ ,  $m|ss'$ ,  $m|ll$ 을 같은 방식으로 정의하면,

$$m|ss' = \frac{1}{N-1} \{ (1+2+3+\dots+h-2) \cdot (h-1) + (1+2+\dots+h-2) \}$$

$$= h(h-1)(h-2) / 2(N-1)$$

$$m|ll = \frac{1}{N-1} \{ h(1+2+3+\dots+h-2) \}$$

$$= \frac{h(h-1)(h-2)}{2(N-1)}$$

$$m|s = \frac{(h-1)(h-2)}{N-1}$$

$$m|s|l = \phi$$

이 되며  $\rho_{ll}$ 을 바로 전에 긴 링크를 지나지 않고 들어온 메시지가 현재 긴 링크의 채널을 사용할 확율이라면 긴 링크로 들어올 수 있는 유일한 방법은 네트워크 외부에서 그 노드에 도착하는 경우 밖에 없으며 또한 들어온 교통량은 유니폼 분포에 의해 목적지를 정하여 N-개의 목적대상 중에서 긴 링크를 먼저 지나 는 경우의 수가  $h(h-1)$ 이므로

$$\rho_{ll} = r / N \times \{ h(h-1) / (N-1) \} t_m$$

이 되고 같은 방법에 의해

$$\rho_{ss'} = \frac{r}{N} \times \frac{h(h-1)}{N-1} t_m$$

$$\rho_{ls} = \frac{h-1}{2} (h^2 - 2h + 2) \frac{r \cdot t_m}{N(N-1)}$$

이 되는데 여기서 구한  $\rho_{ll}$ ,  $\rho_{ss}$ ,  $\rho_{ls}$ 은 (4)의 내용과 견해를 달리하는 것이다.

#### 4. 신뢰성과 Fault-Tolerance

단일 루프 네트워크에서는 링크나 인터페이스 중 하나가 고장나도 전체 네트워크가 작동하지 않기 때문에 링크와 인터페이스의 신뢰도가 매우 높은 경우를 제외하고는 신뢰성이 없다. 더욱이 노드의 수가 증가하게 되면 신뢰도는 더욱 나빠진다. 일반적으로 이중 루우프는 경로(path)의 여분이 있기 때문에 단일 루우프 보다는 신뢰도와 Fault-Tolerance가 높다.

최적 이중 루프에서의 임의의 링크의 고장이 delay-throughput에 미치는 영향이 표6에 나와 있다.

#### 5. 시뮬레이션 결과

GPSS-Fortran을 이용, discrete-event-simulator를 개발했으며 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

표 1. 노드수가 25인 단일 루프의 성능

도시 시간 간격	네트워크의 해석적 BS	평균지연시간시뮬레이션
800	4,884	4,692
1,200	2,866	2,821
1,600	2,272	2,161
2,000	1,983	1,841
3,200	1,613	1,454
4,000	1,503	1,436

표 2. 노드수가 25인 DDLCN의 성능

도 시 시 간 간 격	네 트 워 크 의 해 석 적 BS	평 균 지 연 시 간 씨 물 레 이 션
160	9,736	15,672
200	5,028	6,172
240	3,691	4,026
280	3,044	3,017
320	2,658	2,639
400	2,216	2,081
800	1,549	1,447
2,000	1,238	1,190

표 3. 노드수가 25인 최적 이중 루프의 성능

도 착 시 간	해 석 적		씨 물 레 이 션	
	BS	KWON	BS	KWON
120	7,607	7,269	7,154	6,968
160	4,448	4,170	4,209	3,093
220	3,384	3,254	3,013	3,474
240	2,836	2,735	2,800	2,056
280	2,499	2,416	2,317	1,767
320	2,270	2,199	2,100	1,718
400	1,977	1,922	1,681	1,546
800	1,467	1,440	1,254	1,253
2,000	1,198	1,186	1,099	1,153

표 4. 라우팅에 따른 최적 이중 루프의 성능 비교

도 착 시 간 간 격	네 트 워 크 의 평 균 지 연 시 간		
	Fixed	Random	Load balance
120	6,968	7,306	4,265
160	3,993	3,281	4,513
220	2,474	2,541	2,017
240	2,056	2,041	1,746
280	1,767	1,842	1,685
320	1,718	1,718	1,552
400	1,546	1,501	1,456
800	1,253	1,263	1,230
2,000	1,153	1,137	1,044

표 5. 단일루프, DDLCN, 최적 이중 루프비교

도착 시간 간격	씨물레이션 결과		
	단일루프	DDLCN	최적이중루프
120			6,968
160		15,672	3,093
200		6,127	2,474
240		4,026	2,056
280		3,017	1,767
320		2,639	1,718
400		2,081	1,546
800	5,692	1,447	1,253
1,200	2,281		
1,600	2,161		
2,000	1,814	1,190	1,153
3,200	1,454		
4,000	1,436		

표 6.

(a) 긴 링크의 고장

(b) 짧은 링크의 고장

도착 시간 간격	네트워크의 평균지연시간		네트워크의 평균지연시간	
	Random	Load balance	Random	Load balance
200		17,930	3,119	2,920
240	3,887	3,454	2,575	2,122
280	2,720	2,771	1,998	1,738
320	2,067	2,063	1,852	1,660
400	1,843	1,702	1,647	1,500
800	1,420	1,375	1,283	1,274
2,000	1,186	1,179	1,164	1,162

## 6. 결론

최적 이중 루프가 단일루프나 DDLCN 보다 지연시간/단위 시간당 효율의 측면에서 매우 우수하며 모델링에 있어서는 Bux 와 Shlat-

ter의 방법이 최선이었으나 exact 한 결과는 아님을 알 수 있었다. routing 방법으로는 부하의 분배로 최단의 경로를 선택하는 것이 최선이었으며 임의의 단일 링크 고장이 네트

워크의 성능에 주는 영향이 크지 않음을 알 수 있었다. 지역망에서 링크의 비용이 차지하는 비중이 크지 않다는 사실을 고려할때 약간의 링크 비용의 첨가로 관련 루프 네트워크보다 성능이 매우 향상되었음으로 최적 이중 루프 토폴로지는 분산지역망을 위한 토폴로지로서 매우 적합하다 하겠다.

### 参 考 文 献

1. A. Granrov, L. Kleinrock, M. Gerla, "A Highly Reliable Distributed Loop Net - work Architecture", Proc. 1980 Int Symp. Fault-Tolerant Computing, Kyoto, October, 1980.
2. C.S. Raghavendra, Mario Gerla and Algirdas, "Reliable Loop Topologies for Large Local Computer Network", IEEE Trans on Computer, Vol, C-34 Jan. 1985.
3. Makoto Image, Terunao Soneda and Keiji Okada, "Connectivity of Regular Directed Graphs with Small Diameter." IEEE Trans. On Computer, Vol, C-34 pp. 267-273 Mar. 1985.
4. J.A. Silvester and G.S. Raghavendra "Analysis and Simulation of a Class of Double Loop Network Architecture", Proc, INFOCOM 84, May 1984 pp. 30-35.