

적용 경로 선정 알고리즘의 동적 성질에 관한 연구

류인태* 고우곤 박민용 이상배
연세대학교 전자공학과

A Study on the Dynamic Behavior of Computer Network using Adaptive Routing Algorithm

In Tae Ryoo, Woo Gon Kho, Mignon Park, Sang Bae Lee
Dept. of Electronic Eng., Yonsei Univ.

ABSTRACT

Several routing algorithms use the link lengths that reflect the traffic conditions on the links to route messages. The idea is to assign a large length to a congested link so that they will tend not to use it as part of a routing path. When these lengths depend on current traffic conditions, dynamic behavior such as stability, convergence and the speed of convergence are of interest. But it sometimes induces the possibility of violent oscillation. This paper is the one that analyze these issues systematically.

1. 서론

현재 사용되는 데이터 통신망은 대부분 패킷 교환 망으로서 virtual circuit 과 datagram network 으로 분류된다. 그런데 이와같은 통신망에서 메시지를 전송하기 위해서는 경로를 결정해주는 경로선정이 필수적이다. 이와같은 경로선정을 수행하기 위한 방법은 고정 라우팅과 적응 라우팅을 들수 있는데, 고정 라우팅은 미리 계산된 경로를 통해 경로를 선정하고 적응 라우팅은 통신망에 따라 적절히 경로를 선정해주는 방법이다. 적응 라우팅은 고정 라우팅에 비해 성능은 증가하지만, 항상 라우팅의 정보를 갱신하므로 경로선정에 있어서 진동현상이 발생할 가능성이 있다.

본 연구에서는 적응 라우팅에서 현재의 입력값에

의존하는 링크길이에 의하여 계산되는 최단경로를 따라서, 메시지를 출발지에서 목적지로 전송할 경우에 문제시 되는 이 시스템의 유동적인 성질을 고찰한다. 이러한 시스템의 고찰시에 중요한 안정성문제에 있어서 최소의 큐잉지연 경로의 알고리즘은 어떤 damping mechanism 이 없을 경우에 상당히 심각한 경로의 진동을 유발시킬수 있다. 이러한 성질은, 경로의 선택에 사용된 지연시간의 계산이 그 자체로서 다시 경로선택에 의하여 영향을받아, 결과적으로 feedback 효과를 유도하기 때문이다. 이러한 상황을 해결하기 위한 방법으로, bias라 하는 addition factor 를 각 링크의 계산된 지연값에 더하는 mechanism과, 이와 유사한 것으로 SPP (Shortest Path First) 라는 알고리즘이 제시되었다. 또 다른 방법으로는 현재의 경로선정을 위해 링크 길이를 averaging mechanism 으로 어느정도 이전의 라우팅 경로에 의존함으로써 진동을 방지한다. 본 연구에서는 이러한 bias factor나 averaging 의 역할을 정성적으로 해석하고, 이들의 성능을 시뮬레이션을 통하여 고찰하고자 한다.

2. 시스템 특성의 해석 및 제어방법

2.1 유한상태의 Markov Chain Model의 고찰

라우팅 메시지에 대한 경로의 주기적 갱신 방법으로 아래의 알고리즘이 제안된다.

알고리즘 : 모든 주기의 시작에서 모든 링크(i, j)

의 음이 아닌 길이 D_{ij} 는 각 노드에 유효하게 된다. 이 길이에 기초하여 각 노드는 각 목적지로의 최단 경로를 계산하여 해당 주기동안에 그 경로를 따라 메시지를 전송한다. 이 알고리즘의 결과로 M 이 정수일때 R_1, R_2, \dots, R_M 으로 주어지는 유한수의 라우팅이 있게된다. 그림 1은 N 개의 유한노드를 갖는 링구조의 망이다.

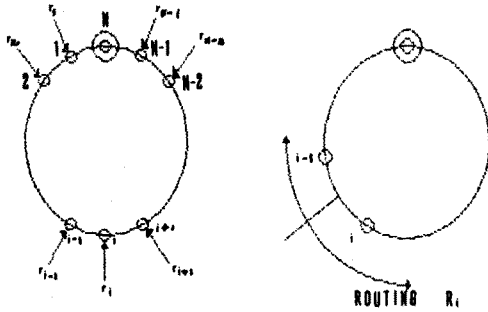


그림 1. N 노드 링 망에서의 라우팅 방법.

노드 i 에서 N 으로 가는 입력값을 r_i 로 정의하고 라우팅 R_i 는 $j < i$ 인 노드 j 는 시계방향으로 $j > i$ 인 노드는 반시계방향으로 그들의 traffic을 전송한다. 링크(i, j)의 길이 D_{ij} 는 메시지가 이 링크를 통과하는 평균시간으로 주어지고, P_{ij}, T_{ij}, Q_{ij} 를 각각 메시지에 대한 평균 전파지연, 평균 전송지연, 그리고 queuing delay라 할때 식 (1)로 표현된다.

$$D_{ij} = d(f_{ij}) = P_{ij} + T_{ij} + Q_{ij}(f_{ij}) \quad (1)$$

한편, 라우팅 R_i 가 주어질때 노드 i 에서 목적지 N 으로의 시계, 반시계방향의 거리 $\bar{D}_j^+(i), \bar{D}_j^-(i)$ 는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \bar{D}_j^+(i) &= \sum_{k=i}^{j-1} d(f_k^+(i)) \\ \bar{D}_j^-(i) &= \sum_{k=i}^{j-1} d(f_k^-(i)) \end{aligned} \quad (2)$$

위에서 $f_k(i)$ 는 라우팅 R_i 에서 노드 위의 traffic 양이다. 이 식을 기본으로하여 최단경로 알고리즘은 $\bar{D}_j^+(i)$ 와 $\bar{D}_j^-(i)$ 가 같을 경우 라우팅 R_i 를 갱신하지 않으며, 다를 경우에는 식 (3)의 방법으로 새로운 라우팅 R_n 을 유도하여 초기 라우팅 R_0 가 주어질 때 $R_1, R_2, \dots, R_k, R_{k+1}$ 의 일련의 라우팅을 선정한다.

$$\begin{aligned} \bar{D}_j^+(i) &\geq \bar{D}_j^-(i) && (\text{단, } j > n) \\ \bar{D}_j^+(i) &< \bar{D}_j^-(i) && (\text{단, } j < n) \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 링구조 망에서 라우팅의 안정성

식 (1)의 f_{ij} 가 영일 경우의 거리 $d(0)$ 는 $d(0)=0$ 이고, $R_0 \neq R_1$ 이라고 할 경우에 어떤시간의 경과후에는 $R_k = R_1, R_{k+1} = R_n$ 이거나 $R_k = R_n, R_{k+1} = R_1$ 인 불안정한 라우팅을 초래한다. 그림 2는 앞절의 라우팅 알고리즘을 16개의 노드를 가지는 링구조 망에 적용시킬때의 진동 현상이다.

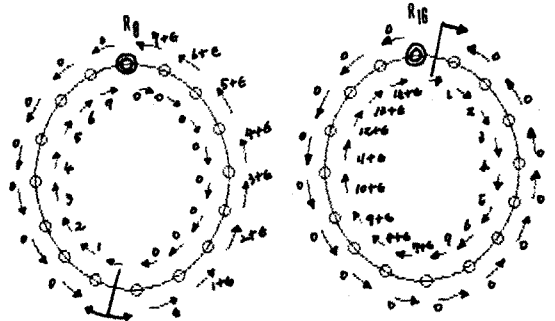


그림 2. 초기 라우팅 R_0 에서 시작한 링 망의 진동 현상.

2.3 최단경로 알고리즘에 의한 진동현상의 해결방안

2.3.1 bias factor를 이용한 해결방법

평형상태의 라우팅 R_i 는 R_{i+1} 이 알고리즘을 통해 R_i 나 R_{i-1} 의 결과를 얻거나, R_{i-1} 이 R_i 나 R_{i+1} 을 얻을 경우에, 그리고 평형상태의 노드 i 는 R_i 가 R_{i+1} 을 R_{i-1} 이 R_i 를 얻을 경우에 locally stable하다고 한다. 이 안정성과 관계된 제약조건으로 $d(0)$ 값은 traffic 조건에 밀접하게 의존하는 어느 수준만큼은 커야한다. 이 수준은 평형상태 혹은 그 인접 노드에서의 입력값이나 링 망내의 링크 길이의 미분값에 비례하므로, 광범위한 통신망에 대해서도 안정성을 유지하기 위하여 $d(0)$ 는 상대적으로 큰 값을 선택한다. 식 (4)와 식 (5)는 n 이 입력값과 링크길이의 미분값 일때, 각각 라우팅 R_i 와 노드 i 가 locally stable하기 위한 bias값을 결정하는 식이다.

$$\begin{aligned} d(0) &\geq \max \left((r_{i-1})/2 \sum_{k=i}^{n-1} m_k, r_i/2 \sum_{k=i}^{n-1} m_k \right) \quad (4) \\ d(0) &> r_i/2 \sum_{k=i}^{n-1} m_k \quad (5) \end{aligned}$$

2.3.2 과거 라우팅의 결과를 이용하는 해결방안

2.3.1 에서 제시한 방법에서, bias는 그 당시의 다양한 입력값에 따라 증가 또는 감소하는 automatic scaling 값이다. 링크길이를 과거의 n개 라우팅에 관계된 흐름에 적절히 의존하게 함으로서 또한 안정성 문제를 향상시킬 수 있다. 이의 해석을 위하여 앞의 링구조 망에서 각 노드들이 링위에 연속적으로 분포되어 있고, 각각의 노드에서 그 목적지로의 거리는 구간 [0,1]내의 값을 갖는다고 가정한다. 따라서 구간 [0,1] 내의 임의의 노드 t1과 t2사이의 입력값은 입력 밀도 r(t)에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$f(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} r(\tau) d\tau \quad (6)$$

새로운 라우팅 R_{n+1}은 과거 n개의 라우팅을 고려한 식 (7)의 평균링크길이와 식 (8)의 평균거리에 의하여 D(R_k, R_{k-1}, ..., R_{k-n}, R_{k+1}) = D(R_k, R_{k-1}, ..., R_{k-n}, R_{k+1})을 만족할때 결정된다.

$$1/(n+1) \sum_{i=0}^n d[f(R_k-i, \tau)] \quad (7)$$

$$D^-(R_k, R_k-1, \dots, R_k-n, t) = \int_0^t 1/(n+1) \sum_{i=0}^n d[f^-(R_k-i, \tau)] d\tau$$

$$D^+(R_k, R_k-1, \dots, R_k-n, t) = \int_t^1 1/(n+1) \sum_{i=0}^n d[f^+(R_k-i, \tau)] d\tau \quad (8)$$

앞의 식에 의해 새로운 bias를 계산하면 이 값은 2.3.1 에서 구한 bias의 임계치보다 1/(n+1) 만큼 감소된다. 결국 주어진 입력값과 bias에 대하여, 평형상태는 상당히 큰 n 값에 대하여 지연의 평균을 취함으로써 더욱 안정하고 또 입력에 민감하게 된다.

2.3.3 결 과

그림 3과 그림 4는 16 개의 노드를 가지는 진동중인 링구조의 망에 대하여 매번의 라우팅 갱신 시간에서 망내에 남아있는 메시지의 잔여 수(normalized)를 각각 damping mechanism 을 사용하지 않은 경우와 사용한 경우에 대하여 그린 것이고, 그림 5는 성능을 나

타낸 것이다.

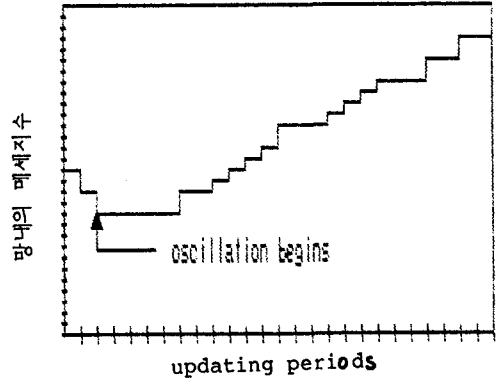


그림3. 진동중인 링 망의 메시지 누적

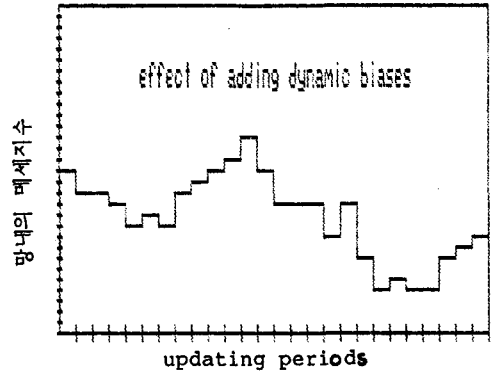


그림4. bias factor를 이용한 진동의 해결

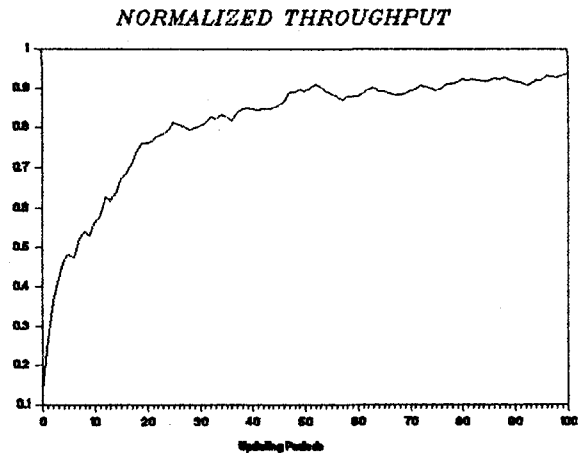


그림5. bias factor를 이용한 링 망의 성능

3. 결 론

본 연구에서는 datagram 통신망에서 적응 최단 경로 선정 방법 적용시 발생할 수 있는 메시지의 진동 현상을 bias를 가하는 방법과 과거 라우팅에서의 링크 길이의 평균을 취하는 방법을 적용하여 해결해 보았다. 이 제안방법은 본 논문의 예인 링구조 망에서만 뿐만 아니라 더욱 다양한 형태의 망구조에 적용이 가능하다. 그러나 이와같은 제어방법은 망을 min-hop system으로 만들기때문에 시스템이 congestion에 민감하지 못하게 되거나 경로선정을 위한 계산의 수렴속도를 저하시킨다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위한 더 효율적인 방법이 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Bertsekas & Gallager, Data Networks, Prentice-Hall, Inc., 1987.
2. M. Schwarz, Telecommunication Network: Protocols, Modeling and analysis, Addison-Wesley Publishing Company, 1987.
3. L. Kleinrock, Queueing Systems, Volume I: Theory, John Wiley & Sons, New York, 1975.
4. D.P. Bertsekas, "Dynamic Behavior of Shortest Path Routing Algorithms for Communication Network," IEEE Trans. on AC., Vol. AC-27, no. 1, Feb. 1982.
5. J. McQuillan, I. Richer & E. Rosen, "The New Routing Algorithm for the ARPANET," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-28, no. 5, May. 1980.