

# 시간 지연을 고려한 TCP Vegas 네트워크의 이산 시간 모델링 및 안정성 분석

유병용\*, 구경모\*\*, 이진수\*\*\*  
포항공과대학교 전자전기공학과

## Discrete time modeling and stability analysis of TCP Vegas network with delay

Byungyong You\*, Kyungmo Koo\*\*, J.Soo Lee\*\*\*

Electronic and Electrical Engineering Department  
Pohang University of Science and Technology

E-mail : \*ybyvic@postech.ac.kr, \*\*pumpkins@postech.ac.kr, \*\*\*jssoo@postech.ac.kr

### Abstract

This thesis presents a new analysis method of Vegas network model in single link single source and a new version of Vegas for expanding asymptotically stable region. Actually since original Vegas model is difficult to analysis, we use a modified Vegas network model. Since there is a few tools to analyze nonlinear system with delay, developing other methods is very important and useful. We used state space model in discrete time. Using by Jury's criterion, we could find asymptotically stable region of Vegas network model. And it was a if and only if condition. Moreover, we proposed a new version of Vegas algorithm. To expand asymptotically stable region we modified the original Vegas model. The new analysis method and new Vegas algorithm were justified by ns-2 simulation. And as compare with other result, we could know our method has many advantages.

### I. 서론

현재 널리 사용되는 TCP Reno는 패킷의 손실이 발생하면 네트워크가 혼잡하다고 판단하고 전송율을 급격

하게 줄이는 방식으로 혼잡을 제어하므로 최근의 인터넷 환경에서 비효율적으로 동작한다. 1995년에 Brakmo에 의하여 제안된 TCP Vegas는 패킷이 라우터의 버퍼에서 머무는 큐잉 시간을 이용하여 네트워크의 혼잡을 측정하기 때문에, 각 소스(source)는 패킷 손실 없이 주어진 링크(link)의 수용량을 최대로 활용할 수 있다. 뿐만 아니라, 안정한 Vegas의 평형 상태에서 각각의 소스들은 네트워크의 자원을 공평하게 나누어 사용한다. 따라서, Vegas를 사용하는 네트워크가 어떠한 조건에서 안정하게 동작하는지 분석하는 것이 중요하다. Vegas의 네트워크 모델은 비선형 특성과 시간 지연이 존재하기 때문에 분석하기가 어렵다. 본 논문에서는 선형화와 이산 시간 상태 모델링을 이용하여 Vegas 네트워크를 분석하기 위한 효과적인 방법을 제시하고, Jury's criterion을 이용하여 안정도를 판별한다.

### II. 본론

Vegas 소스의 윈도우 크기와 전송률을 각각  $w(k)$ 와

$x(k)$ 라고 하고 링크에서의 큐잉 시간을  $q(k)$ 라고 하며 큐잉없이 소요되는 전송 시간을  $d$ 라고 하면, 왕복 전송 시간  $T(k)$ 는  $d + q(k)$ 로 표현된다. 수식을 간단히 정리하기 위하여 단일 소스와 단일 링크를 갖는 네트워크를 가정하고, Vegas 소스가  $c$ 의 수용량을 갖는 단일 링크로 연결되어 있는 네트워크를 표현하면 다음과 같다.

$$w(k+1) = w(k) + \frac{1}{T(k)} \operatorname{sgn}\left(1 - \frac{x(k)q(k)}{\alpha d}\right)$$

$$q(k+1) = q(k) + \frac{1}{c}(x(k) - T(k)) - c$$

이때,  $\alpha$ 는 Vegas의 파라미터이다. 불연속 함수인  $\operatorname{sgn}(\cdot)$ 을  $\tan^{-1}\eta(\cdot)$ 로 근사화하고,  $w(k)$ 에 대한 식을  $x(k) = w(k)/T(k)$ 에 대한 식으로 정리한 후에 평형점 근처에서 선형화한 Vegas 네트워크 모델은 다음과 같다.

$$x(k + T + 1) = Ax(k + T) + Bx(k) + Cq(k)$$

$$q(k + 1) = q(k) + Dx(k)$$

이때,  $A, B, C, D$  및 평형점에서의  $T(t)$ 인  $T$ 는 각각 다음과 같다.

$$A = \left(1 - \frac{2\eta}{\pi} \frac{1}{x^* T^2}\right), B = \left(-\frac{1}{T}\right),$$

$$C = \left(-\frac{2\eta}{\pi} \frac{1}{p^* T^2}\right), D = \frac{1}{c}, T = \left(d + \frac{\alpha d}{c}\right)$$

위의 시간 지연 차분 방정식으로 표현된 Vegas 네트워크 모델은 시간 지연이 표현되지 않는 선형 시스템으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\mathbf{x}(k+1) = \pi \mathbf{x}(k)$$

이때, 매트릭스  $\pi$ 는 다음과 같다.

$$\pi = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \ddots & \\ B & 0 & 0 & & A & C \\ D & 0 & 0 & & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

### III. 구현

Jury's criterion을 이용하여 위 행렬의 안정성을 분석한 결과는 다음과 같다. 그림 1에서는 그래프의 색칠된 영역이 Vegas 네트워크의 안정성을 보장하는  $c$ 와  $d$ 의 조건을 의미한다. 그림 2는 안정하지 않는 범위에서 전송률이 진동함을 ns-2를 이용하여 보여준 것이다.

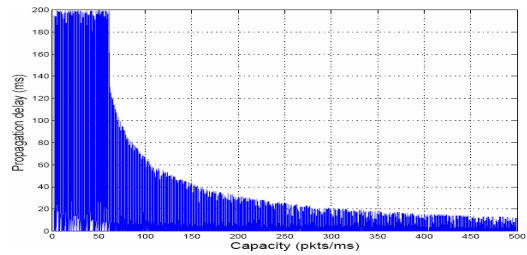


그림 1. Vegas 네트워크가 안정하기 위한  $c$ 와  $d$ 의 영역

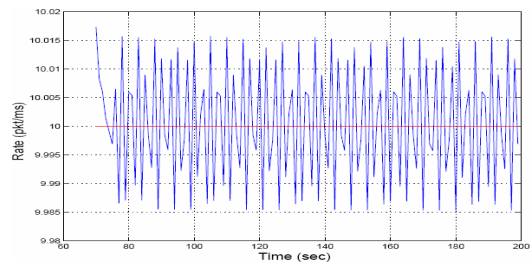


그림 2.  $c = 100, d = 80$ 일 때 전송률

### IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 지연시간을 가지는 Vegas 네트워크 모델을 분석하는 새로운 방법을 제안하였다. 선형화와 이산 시간 상태 모델링을 이용하여 특성 방정식을 구하고 Jury's criterion을 이용하여 실제 Vegas 네트워크가 점근적으로 안정하게 동작하기 위한 조건을 구하였다.

### 참고문헌

[1] Hyojeng Choe and Steven H. Low, "Stabilized Vegas", IEEE Infocom, 2003.  
 [2] Steven H.Low, "Understanding Vegas: a duality model", journal of the ACM, 2002.  
 [3] Gene F.Franklin, J. David powell, Michael L.Workman,"Digital control of dynamic ststems", second edition, p.35-41.