추계적 모형을 이용한 모니터링 과정의 성능 분석

김 제 숭 * 　　 홍 정 식 ** 　　 이 창 훈 *
* 서울 대학교 　 ** 서울 산업 대학교

Performance Analysis of Monitoring Process using the stochastic model

Kim Je Soong* 　 Hong Jung Sik** 　 Lie Chang Hun*
* Seoul National Univ. **Seoul National Polytech.Univ.

ABSTRACT

A monitoring process of a communication network with two links is analyzed. The Markov process is introduced to compute busy and idle portions of monitoring processor and monitored rate of each link. Inter-idle times and inter-monitoring times of monitoring processor between two links are respectively computed. A recursive formula is introduced to make the computational procedure rigorous.

1. 서론

컴퓨터 통신 네트워크(computer communication network)에서 각 링크(link)에서의 서비스에 대한 샘플링(sampling) 검사는 여기서 얻는 정보의 잠재적 유용성에 의해 그 중요성이 강조되어가고 있다.[5,6] 링크에 대한 모니터링 과정(monitoring process)은 이러한 관찰 기능을 담당하는 것으로 링크에서의 서비스가 성공적으로 이루어지고 있는지를 연속적으로 관찰하여 각 링크의 성능 저하를 가능한 빨리, 효과적으로 찾아내어 통신 시스팀의 유지,관리에 유용한 자료를 제공해 준다. 모니터링 과정에서 모든 링크에 각각의 모니터링 프로세서가 있어 관찰기능을 담당한다면 모니터링 과정은 매우 비효율적인 시스팀이 될 것이다. 그래서 하나의 모니터링 프로세서가 일반적으로 여러 링크를 관찰하는 것으로 시스팀이 구성되어 효율성을 높이고 있다.

이러한 다중 링크에 대한 모니터링 프로세서의 작동 과정은 다음과 같은 세가지 프로토콜이 흔히 사용된다.

① FCFS(First Come First Service) 프로토콜

프로세서(processor)가 휴지(idle) 상태일때 작업이 먼저 도착하는 링크의 서비스 상태를 서비스 시작과 동시에 관찰 업무를 시작하여 서비스가 끝날 때까지 계속한다.(기존의 어떠한 상태와도 독립적으로 수행한다.) 프로세서는 한 링크의 관찰 업무를 수행하는 동안에는 다른 링크에 도착한 작업에 의해 절대로 방해받지 않으며, 휴지 상태에서만 처음 도착한 작업에 대한 링크의 관찰 업무를 수행한다.

② 우선 순위 조종 프로토콜

각 링크에 우선 순위를 정하여, 프로세서가 임의의 링크에 대해 관찰 업무를 수행할 때 이 링크보다 우선 순위가 높은 링크의 작업 도착에 대해서만 현재 링크에 대한 관찰 업무를 중단하고 그 링크로 즉시 옮겨 관찰 업무를 수행한다.

③ 임계(threshold) 조종 프로토콜

각 링크에 대해 고장률에 대한 변수값을 찾아내어 이 값이 결정 변수(decision variable)보다 작으면 FCFS 프로토콜을, 크면 우선 순위 조정 프로토콜을 적용한다.[6,7]

이러한 모니터링 과정은 단일 서버(server)에 의해 순서대로 서비스를 받는 다중 대기 행렬이 있는 순환적(cyclic) 서비스 시스팀과 유사하다. 이 순환적 서비스 시스팀은 무작위적(randomness) 특성을 가지며 동적(dynamic)으로 변해가는 시스팀이므로 추계적(stochastic) 모형으로 많은 분석이 이루어져 왔다.[1,3,4] 모니터링 과정의 경우에도 무작위적 특성을 가지고 동적으로 변해가므로 추계적 모형의 적용이 가능하다. 그러나 하나의 프로세서가 여러링크를 관찰하게되어 있고 조종 프로토콜에 의해 관찰되지 않는 작업중의 링크가 발생하게 되어 서비스 형태가 순환적 서비스 시스팀과는 또다른 독특한 시스팀이다.

이러한 모니터링 과정을 P.P. Kazakos와 D. Kazakos는 일반적인 통계적 모형으로 분석하였다.[7]

본 논문에서는 모니터링 과정을 추계적 모형으로 새롭게 정의하여 특정 시점이나 안정 상태(stable state)에서 시스팀의 성능에 관련된 여러 척도를 구하고자 한다.

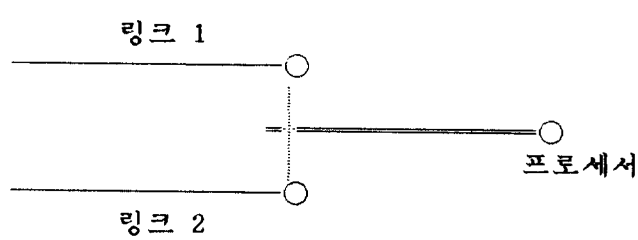
가장 일반적인 모니터링 과정의 경우 모니터링 프로세서가 관찰하는 링크가 n 개이고 각 링크에 버퍼 크기(buffer size)가 k개 이다. 여기서 k>1인 경우는 패킷 교환망(packet switch network)이 있고, k=1인 경우는 회선 교환망 (circuit switch network)인 전화 교환기가 있다.

본 연구는 일단 n=2, k=1인 시스팀의 시간적 상태 변화를 마코프 과정(markov process)으로 정의하고(3장), 특정 시점이나 안정 상태에서의 다음과 같은 값들을 성능 척도(performance measure)로서 구하고자 한다.

(1) 모니터링 프로세서의 가동율(Ψ)
(2) 각 링크에서 프로세서에 의해 관찰되는 시간 간격(inter-monitoring time)($E[W_{ij}]$)
(3) 각 링크에서 프로세서에 의해 관찰되는 작업의 비율

2. 문제의 모형화

본 논문에서는 버퍼가 없는 두개의 링크와 하나의 프로세서로 구성된 시스팀으로 FCFS 프로토콜의 경우만을 고려 대상으로 한다.[그림1]은 본 연구의 시스팀을 나타내고 있다.



[그림 1] 모니터링 프로세스 시스팀 (n=2, k=1)

각 링크에서의 작업 도착과정과 서비스 시간은 각각 포아송 분포와 지수 분포를 따른다고 가정한다.

각 링크에서의 작업 도착과정과 서비스 시간은 각각 포아송 분포와 지수 분포를 따른다고 가정한다.

λ_j : 링크 j 에서의 도착율(arrival rate) j=1,2
μ_j : 링크 j 에서의 서비스율(service rate) j=1,2

각 링크에서의 상태는 휴지(idle) 상태와 작동(busy) 상태를 가지는 M/M/1/1 대기행렬 시스템이다. 그러므로,

Q_{jk} : 안정 상태(steady state)에서 링크 j가 k상태에 있을 확률

$$j = 1,2 : k = \begin{cases} 0, & \text{idle} \\ 1, & \text{busy} \end{cases}$$

라 하면,

$$Q_{j0} = \frac{1}{1+\rho_j} \qquad j : 1,2$$

$$Q_{j1} = \frac{\rho_j}{1+\rho_j} \qquad j : 1,2$$

여기에서 $\rho_j = \dfrac{\lambda_j}{\mu_j}$ $\quad 0 < \rho_j < 1$

이다.[2]

2-1 . 마코프 과정(Markov process) 모형

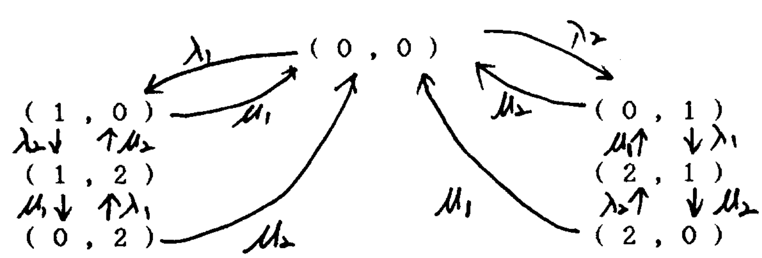
모니터링 과정에서 링크의 상태에 주된 관점을 두고 마코프 과정으로 모형화하고자 한다.

시스템 상태를 표시하기 위한 상태 변수(state variable)를 아래와 같이 정의한다.

state (a,b) (링크 1의 상태, 링크 2의 상태)

a, b =
- 0 : 링크에 작업이 없을 때
- 1 : 링크에 작업이 있고 프로세서에 의해 관찰될 때
- 2 : 링크에 작업이 있고 프로세서에 의해 관찰되지 않을 때

위의 정의에 의해 각 링크의 상태에 의해 3x3=9 가지의 상태가 정의되는 2차원 벡터가 된다. 그러나, 상태 (1,1)과 (2,2)는 이 시스템에서는 일어나지 않으므로 모두 7개의 상태만이 정의된다. 상태 전이도(state transition diagram)를 [그림 2]에 나타내었다.



[그림 2] 상태 전이도(transition diagram)

상태 전이도를 바탕으로 생성행렬(Generator Matrix) A와 $\bar{A}$를 구하면 다음과 같다.

$$
A = \begin{array}{cc}
 & \begin{array}{ccccccc} (0,2) & (1,2) & (1,0) & (0,0) & (0,1) & (2,1) & (2,0) \end{array} \\
\begin{array}{c} (0,2) \\ (1,2) \\ (1,0) \\ (0,0) \\ (0,1) \\ (2,1) \\ (2,0) \end{array} &
\begin{bmatrix}
-(\lambda_1+\mu_2) & \lambda_1 & & \mu_2 & & & \\
\mu_1 & -(\mu_1+\mu_2) & \mu_2 & & & & \\
 & \lambda_2 & -(\lambda_2+\mu_1) & \mu_1 & & & \\
 & & \lambda_1 & -(\lambda_1+\lambda_2) & \lambda_2 & & \\
 & & & \mu_2 & -(\lambda_1+\mu_2) & \lambda_1 & \\
 & & & & \mu_1 & -(\mu_1+\mu_2) & \mu_2 \\
 & & & \mu_1 & & \lambda_2 & -(\lambda_2+\mu_1)
\end{bmatrix}
\end{array}
$$

$$
\bar{A} = \begin{array}{cc}
 & \begin{array}{ccccccc} (0,2) & (1,0) & (0,1) & (2,0) & (1,2) & (0,0) & (2,1) \end{array} \\
\begin{array}{c} (0,2) \\ (1,0) \\ (0,1) \\ (2,0) \\ (1,2) \\ (0,0) \\ (2,1) \end{array} &
\begin{bmatrix}
-(\lambda_1+\mu_2) & & & & \lambda_1 & \mu_2 & \\
 & -(\lambda_2+\mu_1) & & & \lambda_2 & \mu_1 & \\
 & & -(\lambda_1+\mu_2) & & & \mu_2 & \lambda_1 \\
 & & & -(\lambda_2+\mu_1) & & \mu_1 & \lambda_2 \\
\mu_1 & \mu_2 & & & -(\mu_1+\mu_2) & & \\
 & \lambda_1 & \lambda_2 & & & -(\lambda_1+\lambda_2) & \\
 & & \mu_1 & \mu_2 & & & -(\mu_1+\mu_2)
\end{bmatrix}
\end{array}
$$

3. 마코프 모형(Markov Model)의 분석

3-1. 극한 확률(limiting probability)

생성 행렬(Generator Matrix) $\bar{A}$로부터 얻어진 극한 확률(limiting probability)은 다음과 같다.

$$\nu \bar{A} = 0$$

$$\pi(j) = \frac{\nu_j}{\sum_i \nu_i}$$

위의 식을 이용하면 극한 확률은 다음과 같다.

$$
\Pi = \Bigg[\frac{\lambda_1\lambda_2\mu_1}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1+\mu_2)},
$$

$$
\frac{\lambda_1(\lambda_1\mu_2+\mu_1\mu_2+\mu_2^2)}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1+\mu_2)},
$$

$$
\frac{\lambda_2(\lambda_2\mu_1+\mu_1\mu_2+\mu_1^2)}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1+\mu_2)},
$$

$$
\frac{\lambda_1\lambda_2\mu_2}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1+\mu_2)},
$$

$$
\frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1+\mu_2)}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1+\mu_2)},
$$

$$\frac{\mu_1\mu_2}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)},$$

$$\left.\frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_2+\mu_1)}{(\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1+\mu_2)}\right]$$

그리고 다음과 같은 기호를 사용하여 Π를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\rho_j = \frac{\lambda_j}{\mu_j}, \quad j = 1,2$$

$$\beta = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

$$\Pi = \left[\frac{\rho_1\rho_2^2}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]},\right.$$

$$\frac{\rho_1[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2]}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]},$$

$$\frac{\rho_2[\rho_2(1+\rho_1\beta)+\rho_1\beta]}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]},$$

$$\frac{\rho_1^2\rho_2\beta}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]},$$

$$\frac{\rho_1^2\rho_2(\rho_2+\beta)}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]},$$

$$\frac{1}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)},$$

$$\left.\frac{\rho_1\rho_2^2(1+\rho_1\beta)}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]}\right]$$

3-2. 프로세서에 대한 작동과 휴지 비율및 각 링크에 대한 프로세서의 작동 비율

프로세서의 작동 비율 Ψ는 극한 확률 Π에서 $\Pi_2, \Pi_3, \Pi_5, \Pi_7$이다. 이 값들을 모두 합하면 프로세서의 작동 비율이 도출된다.

$$\Psi = \Pi_2+\Pi_3+\Pi_5+\Pi_7$$
$$= \frac{\rho_1\rho_2(1+\beta)(1+\rho_1)(1+\rho_2)+\rho_2^2+\rho_1^2\beta}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]}$$

그리고, 프로세서의 휴지 비율은 Π에서 위의 항들을 제외한 나머지들의 합이다.

$$\Pi_1+\Pi_4+\Pi_6 = \frac{\rho_1\rho_2[(1+\rho_1\beta)+(\rho_2+\beta)]+\rho_2+\rho_1\beta}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]}$$

각 링크들에 대한 프로세서의 작동 비율은 다음과 같다. 링크 1의 작동 비율은 Π_2, Π_5의 합이고, 링크 2의 작동 비율은 Π_3, Π_7의 합이다.

$$\Pi_2+\Pi_5 = \frac{\rho_1[\rho_1(1+\rho_2)(\rho_2+\beta)+\rho_2]}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]}$$

$$\Pi_3+\Pi_7 = \frac{\rho_2[\rho_2(1+\rho_1\beta)(1+\rho_1)+\rho_1\beta]}{(1+\rho_1)(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]}$$

3-3. 각 링크에 대해 프로세서에 의하여 관찰되는 작업의 비율

이 작업의 비율은 링크에 의해 서비스되고 있는 작업과 이 작업들 중에서 프로세서에 의해 관찰이 함께 이루어지는 작업과의 비율이다. 즉 링크 1은 $\Pi_2, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_7$의 합과 Π_2, Π_5의 합의 비율이고, 링크 2는 $\Pi_1, \Pi_3, \Pi_5, \Pi_7$의 합과 Π_3, Π_7의 합의 비율이다.

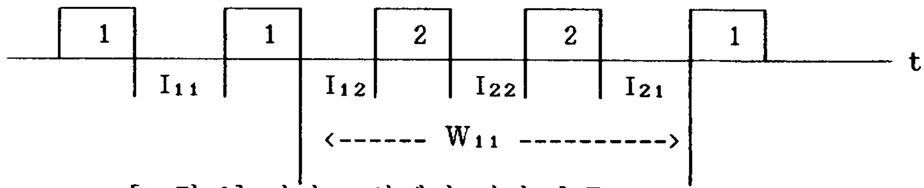
$$\frac{\Pi_2+\Pi_5}{\Pi_2+\Pi_4+\Pi_5+\Pi_7} = \frac{\rho_1(1+\rho_2)(\rho_2+\beta)+\rho_2}{(1+\rho_2)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]}$$

$$\frac{\Pi_3+\Pi_7}{\Pi_1+\Pi_3+\Pi_5+\Pi_7} = \frac{\rho_2(1+\rho_1\beta)(1+\rho_1)+\rho_1\beta}{(1+\rho_1)[\rho_1(\rho_2+\beta)+\rho_2(1+\rho_1\beta)]}$$

위의 식에서 $\Pi_2+\Pi_4+\Pi_5+\Pi_7$ 의 값과 $\Pi_1+\Pi_3+\Pi_5+\Pi_7$ 의 값은 각 링크가 작업을 하는 확률 $\rho_1/(1+\rho_1)$, $\rho_2/(1+\rho_2)$이다.

4. 각 링크에서 프로세서에 의해 관찰되는 시간 간격의 분석

모니터링 프로세서의 서비스 상태를 시간의 흐름별로 나타내어 보면 다음 [그림 3]과 같다. 그림의 1,2는 링크의 구분을 나타낸다.



[그림 3] 서비스 상태의 시간 흐름도

즉, 그림에서 I_{ij}는 작업 i와 작업 j 사이의 휴지 기간이고, W_{ij}는 작업 i에서 작업 j를 관찰할 때까지의 시간 간격이다. 이 시간 간격의 기대값을 구하기 위해서 다음과 같은 순환식(recursive formula)을 사용할 수 있다.

$$E[W_{11}] = P_{11}E[I_{11}] + P_{12}\{ E[W_{21}] + E[I_{12}] + \mu_2^{-1} \}$$
$$E[W_{12}] = P_{12}E[I_{12}] + P_{11}\{ E[W_{12}] + E[I_{11}] + \mu_1^{-1} \}$$
$$E[W_{21}] = P_{21}E[I_{21}] + P_{22}\{ E[W_{21}] + E[I_{22}] + \mu_2^{-1} \}$$
$$E[W_{22}] = P_{22}E[I_{22}] + P_{21}\{ E[W_{12}] + E[I_{12}] + \mu_1^{-1} \}$$

이 식을 풀기 위해서는 $E[I_{ij}]$, $i,j=1,2$,에 대한 정보만 있으면 $E[W_{ij}]$를 구할 수 있다.

$$E[I_{ij}] = \lim_{h \to 0} \int_0^{\infty} t * P[t \le I_{ij} \le t+h]\, dt / h$$

$$P[t \le I_{ij} \le t+h] = P[t \le T_{ij} \le t+h / i \to j] = \frac{P[t \le T_{ij} \le t+h,\ i \to j]}{P[i \to j]}$$

이 식에서 $P[i \to j]$는 P.P. Kazakos와 D. Kazakos가 구한 P_{ij}와 같고[7], 분자의 확률만 구하면 위의 값을 알수있다. 이 P_{ij}를 보면 다음과 같다.

$$P_{11} = \frac{1}{1-\rho_2^2}\left[\frac{1}{1+\beta} - \frac{\rho_2^3}{\rho_2+\beta}\right]$$

$$P_{12} = \frac{\beta}{1-\rho_2^2}\left[\frac{1}{1+\beta} - \frac{\rho_2^2}{\rho_2+\beta}\right]$$

$$P_{21} = \frac{1}{1-\rho_1^2}\left[\frac{1}{1+\beta} - \frac{\rho_1^2}{1+\rho_1\beta}\right]$$

$$P_{22} = \frac{\beta}{1-\rho_1^2}\left[\frac{1}{1+\beta} - \frac{\rho_1^3}{1+\rho_1\beta}\right]$$

그리고, 분자는 다음과 같은 방법에 의해 구해진다.

$$\begin{aligned} P[t \le T_{11} \le t+h,\ 1 \to 1] &= \\ &P[t \le X_1 \le t+h,\ X_2 > t] \times \{1/(1+\rho_2)\} \\ &+ P[t \le X_1 \le t+h,\ X_2+Y_2 > t] \times \{\rho_2/(1+\rho_2)\} \\ &= \exp(-\lambda_1 t)\{1-\exp(\lambda_1 h)\}\exp(-\lambda_2 t)\{1/(1+\rho_2)\} + \exp(-\lambda_1 t) \times \\ &\quad \{1-\exp(-\lambda_1 h)\}\{1/(\mu_2-\lambda_2)\}\{\mu_2\exp(-\lambda_2 t) - \lambda_2\exp(-\mu_2 t)\} \end{aligned}$$

따라서 $\lim_{h \to 0} P[t \le I_{11} \le t+h]/h$는 다음과 같다.

$\lambda_1 \exp\{-(\lambda_1+\lambda_2)t\}\{1/(1+\rho_2)\}+\{\lambda_1/(\mu_2-\lambda_2)\}\times\{\mu_2\exp(-\lambda_2 t) -\lambda_2\exp(-\mu_2 t)\}$

위 식을 적분하면 E[I_{11}]은 다음과 같다.

$$E[I_{11}] = \frac{1}{1-\rho_2^2}\left[\frac{1}{\lambda_1(1+\beta)^2} - \frac{\rho_2^4\beta}{\lambda_2(\rho_2+\beta)^2}\right] \times P_{11}^{-1}$$

같은 방법으로 E[I_{12}],E[I_{21}],E[I_{22}]를 구하면 다음과 같다.

$$E[I_{12}] = \frac{\beta}{1-\rho_2^2}\left[\frac{1}{\lambda_1(1+\beta)^2} - \frac{\rho_2^3\beta}{\lambda_2(\rho_2+\beta)^2}\right] \times P_{12}^{-1}$$

$$E[I_{21}] = \frac{1}{1-\rho_1^2}\left[\frac{1}{\lambda_1(1+\beta)^2} - \frac{\rho_1^3}{\lambda_1(1+\rho_1\beta)^2}\right] \times P_{21}^{-1}$$

$$E[I_{22}] = \frac{\beta}{1-\rho_1^2}\left[\frac{1}{\lambda_1(1+\beta)^2} - \frac{\rho_1^4}{\lambda_1(1+\rho_1\beta)^2}\right] \times P_{22}^{-1}$$

그러므로, E[W_{ij}], i,j=1,2 ,를 구하면 다음과 같다.

$$E[W_{11}] = P_{11}E[I_{11}] + \frac{P_{12}\{P_{21}E[I_{21}] + P_{22}\{E[I_{22}]+\mu_2^{-1}\}\}}{1 - P_{22}} + P_{12}\{E[I_{12}]+\mu_2^{-1}\}$$

$$E[W_{12}] = \frac{P_{12}E[I_{12}] + P_{11}\{E[I_{11}]+\mu_1^{-1}\}}{1 - P_{11}}$$

$$E[W_{21}] = \frac{P_{21}E[I_{21}] + P_{22}\{E[I_{22}]+\mu_2^{-1}\}}{1 - P_{22}}$$

$$E[W_{22}] = P_{22}E[I_{22}] + \frac{P_{21}\{P_{12}E[I_{12}] + P_{11}\{E[I_{11}]+\mu_1^{-1}\}\}}{1 - P_{11}} + P_{21}\{E[I_{21}]+\mu_2^{-1}\}$$

5. 결론

본 연구에서는 이전의 연구에서 모니터링 과정의 독특한 특성때문에 발생한 분석의 복잡성을 개선하고자 마코프 과정과 순환식을 사용하여 분석하였다. 마코프 과정에서는 상태 전이도에서 생성 행렬을 유도하여 각 상태에 따른 극한 확률을 구하였고, 이 극한 확률로부터 모니터링 프로세서의 작동 비율과 휴지 비율, 그리고 각 링크에 대해 모니터링 프로세서에 의해 관찰되는 작업의 비율을 구하였다. 순환식으로부터는 각 링크들에 대해 작업간의 기대 시간과 휴지 시간을 구하였다.

따라서 링크의 갯수를 m개로 확장시킨 일반적인 통신 네트워크에 대해서도 이와같은 분석 방법을 적용시킬 수 있을 것이다.

본 논문에서는 어떠한 모니터링 과정에서의 모니터의 효율을 각 링크에서의 도착율과 서비스율로 나타내었다. 따라서 우리가 원하는 시스팀의 효율을 얻기 위해 링크의 갯수를 조정한다든지, 링크의 부하(load)를 조정하는 데 유용한 자료가 될 수 있다.

Reference

[1] H. Takagi, " Queueing Analysis of Polling Models ", ACM Computing Surveys, Vol.20, No.1, Mar. 1988.

[2] L. Kleinrock , Queueing Systems, Vol.1, John Wiley & Sons, New York, 1975.

[3] O.J. Boxma, " Models of Two Queue : A Few New Views ", Teletraffic Analysis & Computer Performance Evaluation, 1986.

[4] P.J. Kuhen, " Multiqueue Systems with Non-exhaustive Cyclic Service ", BSTJ, Vol.58, No.3 , Mar. 1979.

[5] P. Papantoni-Kazakos, " The Potential of End-to-End Observations in Trouble Localization and Quality Control of Network Links", IEEE Trans. Comm., Vol. COM-27, No.1, pp.16-30, 1979.

[6] P. Papantoni-Kazakos, " Algorithms for Monitoring Changes in Quality of Communication Links ", IEEE Trans. Comm., Vol. COM-27, NO.4, pp.682-693, 1979.

[7] P. Papantoni-Kazakos and D. Kazakos , " Processing Sharing for Quality Control of Communication Links ", IEEE Trans. on Rel., to be published.