

차세대 네트워크를 위한 에이전트 기반의 라우팅 알고리즘¹⁾

A routing algorithm based on monitoring agent for next generation networks

최규웅, 이희상

경기도 수원시 장안구 천천동 300, 성균관대학교 시스템경영공학과
(jims7, leehee@skku.edu)

Abstract

본 논문에서는 차세대 네트워크에서 통합적이고 품질을 보장해주는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 모니터링 하는 에이전트에 의해 네트워크의 상태를 정보로 전달하여 좀 더 네트워크 상황에 적응력이 높은 것이 특징이다. 우리는 트래픽의 지연이나 손실을 피하기 위해 에이전트를 이용해 네트워크 상황을 모니터링 하게 된다. 이 에이전트들은 시간에 따라 변화하는 네트워크의 트래픽의 수요를 관찰하여 네트워크 상태를 이후 트래픽의 경로를 설정해 주는데 정보로 제공해 준다. 이 알고리즘은 기존에 제안된 다품종 최소비용 문제를 이용한 라우팅 알고리즘을 에이전트를 이용해 개선한 것이다. 우리는 실험을 통해 알고리즘의 성능을 실험해 보았다.

1. 서론

기존 인터넷과 달리 차세대 네트워크는 음성·데이터, 유·무선, 통신·방송 융합형 멀티미디어 서비스를 언제 어디서나 편리하게 접근할 수 있으며, 특정 네트워크나 단말 종류에 종속되지 않고 시간과 공간의 제약 없이 사용할 수 있는 유비쿼터스 서비스 환경을 지원한다. 또한 효율적인 품질관리 및 망 운영을 위한 다양한 제어가 가능한데, 이와 같은 환경에서 발생하는 방대하고 복잡한 서비스를 지원하기 위해서 기존의 분산 제어를 보완할 효율적 통합제어의 보완의 필요성이 증대되고 있다.

현재 인터넷 라우팅 프로토콜과 기술은 차세대 네트워크에서 다양한 서비스를 위하여 서비스 품질을 지원할 수 없기 때문에, 현재의 분산된 제어 기술을 보완하는 통합된 제어 기술이 개발되고 있다. 여기서 통합된 네트워킹 기술은 네트워크가 통합된 방식에서 망 자원의 사용을 최적으로 활용하는 것으로 만족할 만한 서비스 품질의 요구사항을 충족시키는 것을 의미한다.

차세대 네트워크에서 백본 네트워크의 전송 제어 능력은 중앙 집중화된 Network Control Platform(NCP) 또는 계층적인 NCP들에 의하여 제어될 수 있다. NCP는 서비스 품질이 보장되는 다양한 서비스를 지원하기 위하여 물리적이고 논리적인

로 네트워크 자원에 대한 정보를 유지하여야만 하고 실시간으로 네트워크의 이용과 성능과 같은 네트워크 상태에 대한 정보를 가져야 한다. 그리고 모든 서비스 요구를 위해 현재 네트워크 상태를 기반으로 Call Admission Control(CAC)을 수행하기 위하여 서비스의 요구사항을 판단해야 한다. NCP는 시점과 종점을 갖는 트래픽과 망 자원을 제어하는 것으로 서비스 품질을 제공하는 기능과 더불어 자원 최적화, 성능 관리, 장애 관리, 네트워크 보안 등을 포함하는 다른 기능들을 가지고 있다.

모든 서비스의 서비스 품질에 대한 요구는 각각의 개별적인 흐름 단계에서 다루질 수 있으며, 그것은 네트워크의 종점 노드들에서 강조된다. 각 흐름 단계를 계획하고 설계하고 시행하는 것은 시점과 종점 모든 측면에서 수행된다. 우선 네트워크의 시점 노드와 종점 노드 사이에 다수의 흐름들은 하나의 경로 흐름으로 통합될 수 있고, 통합된 경로 흐름의 라우팅은 NCP에 의하여 결정될 수 있다. 차세대 네트워크의 백본 단계에서 각각의 경로 흐름을 위해 장시간 예측할 수 있는 정보를 이용하여 효율적인 경로를 결정해 줄 수 있고 NCP에서 이러한 정보를 활용할 수 있다. 미리 결정된 경로에 대한 정보를 가진 중앙 집중화된 방법은 현재 인터넷의 경로 설정에서 발생하는 많은 문제와는 다른 문제를 발생한다. 차세대 네트워크에서 백본 라우팅 문제의 특성을 고려하여, 우리는 서비스 품질을 만족하는 라우팅을 위해 관련된 의사결정 모델과 알고리즘을 제한하였다.[1]

군중지능(Swarm intelligence)은 상대적으로 자연 또는 인위적인 세계에서 자기조직화 과정의 연구를 다루는 새로운 분야이다. 생물학과 자연에 기인하는 컴퓨터 과학자들은 개미, 흰개미, 꿀벌 그리고 철새들과 같은 사회적인 동물들의 흥미로운 양상을 설명하는 많은 모델들을 제안하였다. 이런 에이전트들의 특성을 기반으로 많은 연구들이 진행되었는데, 최단경로문제(Shortest path problem), 순환외판원 문제(Traveling salesman problem) 등을 포함하는 어려운 조합 최적화 문제들까지도 성공적으로 적용되었다.

통신 네트워크의 라우팅이나 제어에 에이전트, 특히 개미를 이용한 연구들은 다음과 같이 활발하게 진행되고 있다. 가장 유명한 것으로는 AntNet[2, 3]와 개미 기반의 부하 균형[4]이 있다. 또한 서비스 품질과 관련되어 개미의 행동을 적용한 몇몇 연구들도 있었다. Zhang와 Liu는 대역폭, 손실 비율,

1) 본 논문은 2005년 과학기술부 특정기초의 지원으로 이루어졌습니다.

지연과 같은 복합적인 문제를 갖는 서비스 품질을 해결하기 위해 개미 알고리즘을 적용하였다[5]. Chu와 다른 몇몇도 마찬가지로 서비스 품질을 충족하는 라우팅 문제를 해결하기 위해 개미 알고리즘을 제안하였다[6]. Oida와 Sekido는 개미와 같은 에이전트를 사용하여 ARS라고 불리는 데이터 네트워크를 위해 서비스 품질을 보장하는 라우팅과 자원 할당, 그리고 제어 기능을 구현하였다[7]. Carrillo 등은 패킷 교환망에서 서비스 품질을 제공하는 서비스 품질의 AntNet이라고 불리는 라우팅 기술을 제안하였다[9].

본 논문에서는 차세대 네트워크의 백본 네트워크를 위해 에이전트의 특성을 이용한 경로 흐름 라우팅 알고리즘을 제안한다. 이 에이전트 기반의 알고리즘의 목적은 다양한 네트워크 서비스에 대하여 네트워크의 자원을 효율적으로 이용하고 서비스 품질에 대한 요구사항을 충족시키는 데 있다. 우리는 2장에서 에이전트를 기반으로 하는 경로 흐름 라우팅 알고리즘을 설명하고 3 장에서는 에이전트를 기반으로 하는 알고리즘의 성능을 알아보기 위해 실험을 실시하고 결과를 분석해 보았다.

2. 제안된 에이전트 기반의 라우팅 알고리즘

2.1 문제 설명

차세대 네트워크에서 백본 네트워크의 경로 흐름은 국가 단위 규모를 가지는 서비스 품질을 제공하는 라우터에 의해 설계된다. 경로 흐름 라우팅은 효율적인 네트워크 이용을 위해 중앙 집중화된 라우팅을 가정하기 때문에 라우터의 라우팅 테이블은 NCP에 의해 설정되고 전체 네트워크의 물리적인 연결의 형태와 용량으로 각 서비스 품질을 보장하기 위해 라우터에 저장된다. 여기서, 경로 흐름 라우팅 테이블은 각각의 일정 기간 동안 재설정되는 데 네트워크 자원의 높은 이용률과 서비스 품질 향상을 위해서는 새롭게 설정되는 라우팅은 이후 변화된 트래픽의 상태를 반영하여야 한다. 전체적인 설계 구조는 예상되는 수요의 각 경로 흐름에 대한 경로를 결정하는 것을 시작으로 하며, 각 트래픽 쌍이 하나의 시점에서 종점을 갖는 것을 가정하지만, 각 시점과 종점에서 다수의 경로 흐름 또한 가능하다 가정한다.

높은 이용률과 서비스 품질 향상을 이루기 위해서는 다품종 최소비용 흐름 결정 모델에 근거한 중앙 집중화된 수리계획 모델을 이용한다. 이 모델의 목표는 각각의 네트워크 노드의 네트워크 흐름 보존 요구와 각 링크의 대역폭 한계, 그리고 네트워크 형태를 제약으로 하여 라우팅 비용을 최소화 하는데 있다. 다음은 이전에 제안된 다품종 최소비용 흐름 문제(MMCNFP: Multi-commodity Min Cost Network Flow Problem)라는 수리계획 문제를 나타낸다[1].

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{1 \leq k \leq K} \left(\sum_{(i,j) \in A} c_{ij}^k x_{ij}^k \right) \quad (MMCNFP) \\ & N x^k = b^k, \text{ for } k = 1, 2, \dots, K \\ & \sum_{1 \leq k \leq K} x_{ij}^k \leq u_{ij}, \text{ for } (i,j) \in A \\ & x_{ij}^k \geq 0, \text{ for } (i,j) \in A, k = 1, 2, \dots, K \end{aligned}$$

문제에서 사용된 기호의 의미는 다음과 같다. 결정변수 x_{ij}^k 와 상수 c_{ij}^k 는 각각 링크 (i,j) 에서 경로 흐름 k 의 흐름량과 단위 비용을 나타낸다. 한편 경로의 수는 K 까지 있다. 아래 첨자 (i,j) 는 i 노드에서 j 노드로의 링크를 의미하며 모든 링크의 집합을 A 로 표현한다. 링크 집합 A 는 노드-링크 매트릭스가 Λ 으로 표현되고, b^k 는 k 번째 경로의 공급-수요 양을 나타내는 벡터이다. 각 링크 (i,j) 에 대해 모든 경로의 전체용량의 상한이 u_{ij} 이다.

MMCNFP는 흐름 보존과 링크 용량 제한을 만족시키면서 흐름 비용을 최소화하는데 목적을 둔다. 결정된 경로 흐름이 하나의 경로가 아닌 여러 갈래의 경로로 결정되면 지연 등이 증가하기 때문에 보다 나은 서비스 품질을 위해 경로가 갈라지지 않는 하나의 경로인 조건을 충족시켜야 한다. 우리는 이런 모형을 위해 이전에 다품종 최소비용 알고리즘을 제안하였다[1].

제안된 모델은 실제 트래픽이 변화하지 않고 예상하는 트래픽이 항상 정확하다고 가정했지만 이것은 실제적인 상황을 반영하지 못한다. MMCNFP는 초기 기간 동안에 대해서는 만족스러운 경로 설정을 가져다 줄 수 있지만 시간이 지나면서 경로 설정은 트래픽의 대역폭이 변화하기 때문에 각각의 경로 흐름에 대해 좋지 못한 결과를 가져온다. 만약 예상한 것보다 많은 트래픽이 링크에서 발생하게 되면, 네트워크에서 지연이 발생하게 되며, 그리고 심지어는 장애가 발생하게 되어 패킷 손실을 가져오게 된다. 우리는 이렇게 변화하는 상황에 대한 효과적인 경로를 설정해 주기 위해 네트워크 상태를 모니터링하고 이를 이용해 경로 설정을 변화시킨다. 각 링크의 상태를 각 링크의 마지막에서 모니터링하게 되고 이를 바탕으로 얻은 네트워크 정보를 고려해 각 경로의 흐름을 재설정하게 된다. 이와 같이 링크를 모니터링하고 이후 수행되는 여러 가지 일을 성취하기 위해서 다음 장에서 설명될 에이전트를 기반으로 하는 라우팅 알고리즘을 제안하였다.

2.2 에이전트 모니터링과 페로몬 정보를 적용한 알고리즘

이번 장에서는 다품종 최소비용 알고리즘을 보완하여 에이전트를 이용해 모니터링하고 페로몬 정보를 기록하는 알고리즘을 소개한다. 이 알고리즘에서 에이전트들은 네트워크의 각 링크에 대해 각 트래픽의 경로 흐름을 관찰한다. 각 링크에서 트래픽은 각각의 경로 흐름에 대한 대역폭 수요가 동적으로 변화하기 때문에 주어진 경로 설정 기간 동안 여러 차례 변경될 수 있다.

우리는 에이전트가 각각의 링크에 위치한다고 가정하며 에이전트들은 일정 기간에 각 링크의 트래픽 양을 모니터링하고 링크에 대한 페로몬 리스트를 이용해 그 시점의 링크 상태를 기록하게 된다. 만약 링크의 트래픽 대역폭이 링크 용량에 가까이 증가하게 되면, 링크에서는 가벼운 지연이 시작하게 된다. 그래서 링크의 에이전트들은 페로몬 리스트를 이용해 가벼운 지연이 발생하고 있는 네트워크 상태를 기록한다. 만약 링크의 트래픽 대역폭이 링크 용량만큼 증가한다면 더욱 심각한 지연이 발생할 것을 예상할 수 있고 링크의 에이전트는 이 심각한 지연 상태에 대해 페로몬 양을 변화시켜 정보를 반영한다. 링크에서 심각한 과부하로 장애

가 발생하게 될 때 링크에서는 트래픽 손실이 시작되게 된다. 또한 에이전트는 링크의 이러한 심각한 장애에 대한 상태를 페로몬 리스트의 페로몬 양의 변화로 기록할 수 있다. 링크 (i,j) 의 용량을 u_{ij} 라고 하고 u_{ij}^- 와 u_{ij}^+ 를 각각 링크 (i,j) 의 지연이 시작될 시점의 용량과 손실이 시작될 시점의 용량이라 하자. 그리고 시점 t 에서 모니터링 되는 링크 (i,j) 의 트래픽 양을 $x_{ij}(t)$ 하며, 이는 링크 (i,j) 의 모든 경로 흐름의 합으로 얻을 수 있다. 우리는 이와 같은 기호를 이용하여 시점 t 에 링크 (i,j) 의 페로몬 양을 기록하는 것으로 다음과 같은 식을 정의할 수 있다.

$$\beta_{ij}(t) = \begin{cases} 0, & \text{if } x_{ij}(t) \leq u_{ij}^- \\ x_{ij}(t) - u_{ij}^-, & \text{if } u_{ij}^- < x_{ij}(t) \leq u_{ij} \\ x_{ij}(t) - u_{ij}, & \text{if } u_{ij} < x_{ij}(t) \leq u_{ij}^+ \\ x_{ij}(t) - u_{ij}^+, & \text{if } u_{ij}^+ < x_{ij}(t) \end{cases} \quad (1)$$

각각의 링크에 대해 에이전트들은 시점 t 의 새로운 페로몬 양을 구하기 위해 현재 통합된 페로몬 양에 시점 t 의 $\beta_{ij}(t)$ 을 더하게 된다. 그리고 시간에 따라 일정 비율만큼 페로몬 양이 증발시키게 된다. 이를 위해 각 링크를 모니터링 하는 기간이 지나면 이전의 페로몬 양을 감소시켜서 적용할 수 있다. 시점 T 에 통합된 페로몬 양을 B_{ij}^T 이라고 하면 다음의 식으로 페로몬이 증발에 대한 변화를 수행할 수 있다.

$$B_{ij}^T = \rho B_{ij}^{T-1} + \beta_{ij}(t) \quad (2)$$

각 경로를 설정해 주는 기간 T 에서 기록된 페로몬 리스트는 네트워크 상태를 반영하기 위해 사용된다. 따라서 MMCNFP의 각 링크 (i,j) 에 대한 목적 함수 계수를 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$c_{ij}^T = c_{ij} + dB_{ij}^T \quad (3)$$

여기서, c_{ij} 는 본래 문제의 비용 계수이고 d 는 비용을 결정하는 c_{ij} 와 B_{ij}^T 의 상대적인 가중치를 적용하는 변수이다.

MMCNFP에 대한 라우팅 결정 모형과 에이전트 모니터링과 페로몬 적용 모형을 가지는 통합된 알고리즘은 다음과 같이 요약할 수 있다.

Begin

```
{ Initialize the network topology.
  Decide an initial routing by MMCNFP. }
For  $t=1$  to  $t_{max}$ 
{
  { Update the pheromone list:
     $B_{ij}^t = \rho B_{ij}^{t-1} + \beta_{ij}(t).$ 
  IF ( $t = a$  update routing period  $T$ )
    { Update the costs of MMCNFP:
       $c_{ij}^T = c_{ij} + dB_{ij}^T.$ 
    Solve MMCNFP by using the multi-commodity minimization algorithm.
    Update the routing table.}
```

```
End-if
}
End
```

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 환경

이번 장에서는 NSFNET와 PusanNet의 실험 네트워크를 가지고 제안된 알고리즘에 대한 성능을 알아 보기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. NSFNET은 노드 14개, 링크 21개로 구성된 1990년대의 미국 T1 인터넷 백본 네트워크이다. 이 네트워크는 그림 1에 나타나 있으며, 각 링크에 나타난 수는 링크 비용 c_{ij} 를 나타낸다.

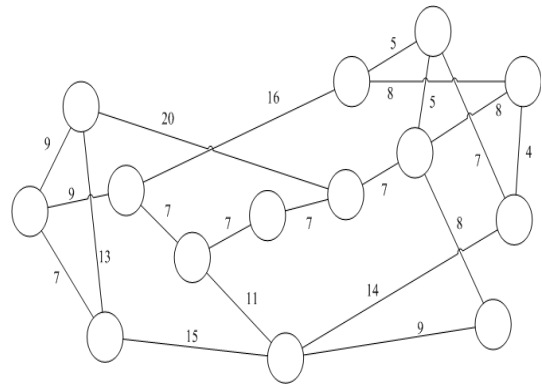


그림. 1. NSFNET

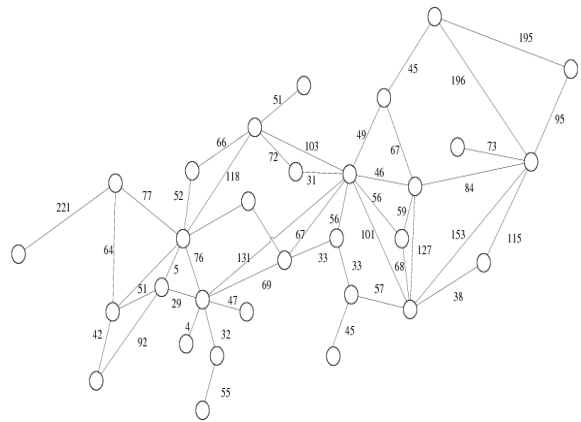


그림. 2. PusanNet

그림 2에 나타난 PusanNet는 노드 30개, 링크 46개로 구성된 부산시에 대한 네트워크이다. 우리는 알고리즘 성능을 평가하기 위해 라우팅 비용에 대한 몇몇 변수를 가지고 실험을 수행했는데, 앞에서 이야기한 것과 같이 링크 (i,j) 의 용량을 나타내는 u_{ij} 와 각각 지연이 시작되는 용량과 손실이 시작되는 용량을 나타내는 u_{ij}^- 와 u_{ij}^+ 을 가진다. 만약 링크 (i,j) 에 흐르는 트래픽 양이 u_{ij}^- 와 u_{ij} 사이면 가벼운 지연이 발생하게 되고, u_{ij} 와 u_{ij}^+ 사이면 심각한 지연이 발생하게 된다. 그리고 링크 (i,j) 의 트래픽 양이 u_{ij}^+ 보다 많이 발생하게 되면 기준보다 많이 발생한 $x_{ij}(t) - u_{ij}^+$ 만큼 트래픽 손실이 발생하게 된

다. 본 실험에서는 u_{ij}^- 와 u_{ij}^+ 값을 각각 $u_{ij}^-=0.9 * u_{ij}$ 와 $u_{ij}^+=1.2 * u_{ij}$ 를 사용하고, 상대적인 가중치인 변수 α 값은 0.7을 사용한다.

네트워크에서 에이전트들이 링크를 모니터링 하는 기간은 6분이라고 가정하고 하루에 총 240회의 링크를 모니터링 하는 기간을 갖는다고 설정한다. 그리고 경로 설정은 1시간마다 발생한다고 하고 네트워크의 전체적인 대역폭은 기본적인 대역폭에 대해 시간에 따라 20%정도 변화한다고 설정하였다. 그림 3은 시뮬레이션에 사용된 트래픽 형태를 보여주고 있으며 현재의 하루 인터넷 트래픽이 시간에 따라 변화하는 것을 바탕으로 작성되었다.

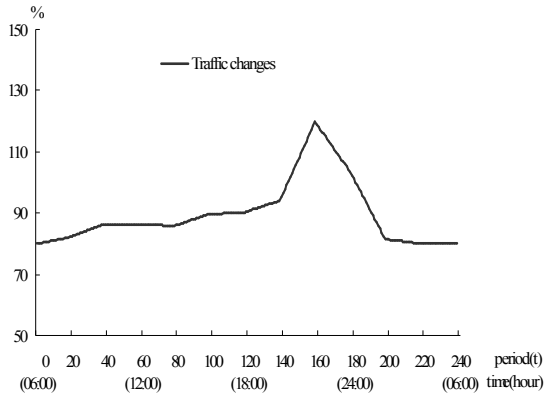


그림 3. 하루 중 트래픽 변화

3.2 시뮬레이션 결과

NSFNET에 대한 시뮬레이션은 하루 동안 수행되었으며 그 결과는 아래의 그림에서 나타내고 있다. 여기서 하루에 예상된 트래픽의 경로를 고정적으로 설정해 주는 다품종 최소비용 문제를 기반으로 한 경로 흐름 알고리즘과 하루에 24번의 서로 다른 경로 설정을 위해 사용되는 에이전트 기반의 라우팅 알고리즘 결과를 비교해 보았다. 우선적으로 각 알고리즘에 대한 라우팅 비용은 그림 4에 비교되어 나타나고 있다. 이 라우팅 비용은 앞선 식 (3)에서 추가적인 비용인 dB_{ij}^T 으로 정의된 링크 (i,j) 의 트래픽 대역폭을 합한 가중치로 설명될 수 있다.

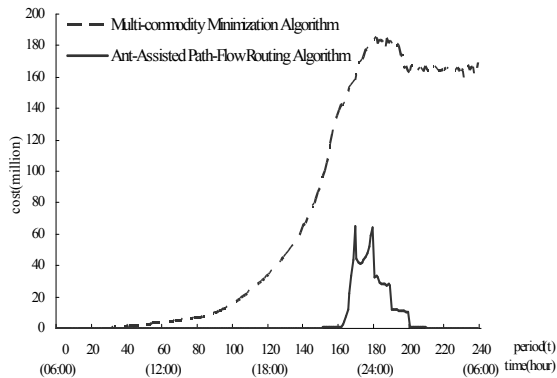


그림 4. 라우팅 비용(NSFNET의 경우)

또한 각 라우팅 알고리즘에 대해 발생하는 트래픽 지연과 손실을 나타내 보았는데, 그림 5는 다품종 최소비용 알고리즘의 트래픽 지연과 손실을 보여주고 있다. 그림 5를 보면, 트래픽 발생이 작을 때를 제외하고는 거의 전 기간에 걸쳐서 트래픽 지연이나 손실이 발생하고 있다. 트래픽 지연이 많이 발생하는 경우를 보면 시점 141에서 187까지이며 트래픽 손실이 발생하는 시점은 156에서 169까지인 것을 볼 수 있다. 이와 반대로 에이전트를 기반으로 하는 알고리즘 같은 경우는 전체 기간 동안 단지 40 기간에 트래픽 지연이 발생한 것을 그림 6을 통해 알 수 있다. 트래픽 지연이 빈번히 발생한 구간도 불과 5 기간밖에 되지 않는다. 이로써 에이전트를 기반으로 하는 알고리즘에 대한 트래픽의 지연이나 손실이 다품종 최소비용 알고리즘보다 매우 작은 것을 알 수 있다. 이 실험으로부터 우리는 NSFNET에서 에이전트 기반의 알고리즘이 시간에 따라 변화하는 트래픽의 경로 설정에 있어서 효과적이라는 것을 판단할 수 있다.

그림 5는 다품종 최소비용 알고리즘의 트래픽 지연과 손실을 보여주고 있다. 그림 5를 보면, 트래픽 발생이 작을 때를 제외하고는 거의 전 기간에 걸쳐서 트래픽 지연이나 손실이 발생하고 있다. 트래픽 지연이 많이 발생하는 경우를 보면 시점 141에서 187까지이며 트래픽 손실이 발생하는 시점은 156에서 169까지인 것을 볼 수 있다. 이와 반대로 에이전트를 기반으로 하는 알고리즘 같은 경우는 전체 기간 동안 단지 40 기간에 트래픽 지연이 발생한 것을 그림 6을 통해 알 수 있다. 트래픽 지연이 빈번히 발생한 구간도 불과 5 기간밖에 되지 않는다. 이로써 에이전트를 기반으로 하는 알고리즘에 대한 트래픽의 지연이나 손실이 다품종 최소비용 알고리즘보다 매우 작은 것을 알 수 있다. 이 실험으로부터 우리는 NSFNET에서 에이전트 기반의 알고리즘이 시간에 따라 변화하는 트래픽의 경로 설정에 있어서 효과적이라는 것을 판단할 수 있다.

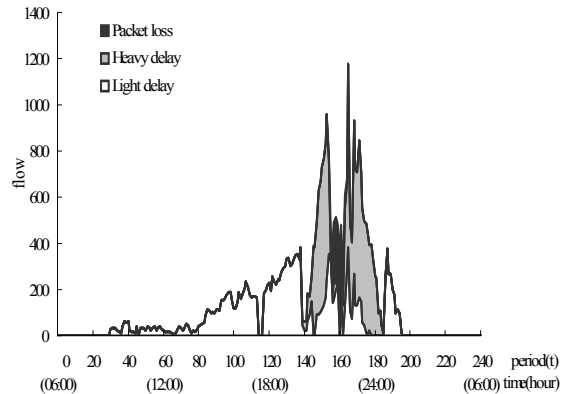


그림 5. 다품종 최소비용 알고리즘의 지연과 손실 (NSFNET의 경우)

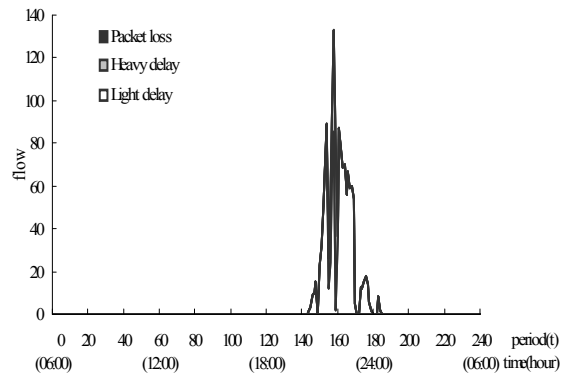


그림 6. 에이전트 기반 알고리즘의 지연과 손실 (NSFNET의 경우)

다음으로 NSFNET보다 크고 네트워크 형태가 균형적이 않는 PusanNet을 이용하여 실험해 보았다. 시간에 따라 변화하는 트래픽의 형태는 그림 3과 같다. NSFNET에서와 마찬가지로 라우팅 비용을 그림 7에서 비교해 보았고 에이전트를 기반으로 하는 알고리즘이 다품종 최소비용 알고리즘보다 훨씬 비용이 적은 것을 알 수 있다.

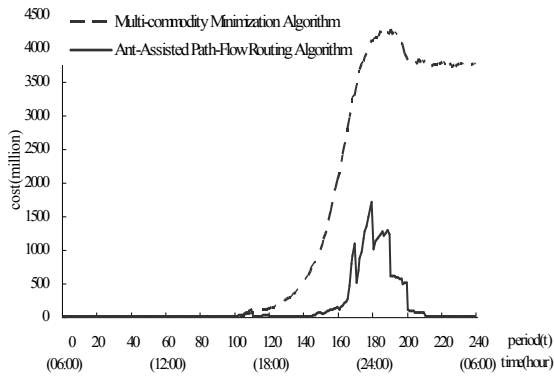


그림. 7. 라우팅 비용(PusanNet의 경우)

그림 8과 그림 9는 각각 다품종 최소비용 알고리즘과 에이전트 기반의 알고리즘에 대한 PusanNet에서의 트래픽 지연과 손실을 나타내고 있다. 앞선 결과에서 살펴본 바와 같이 PusanNet에서 다품종 최소비용 알고리즘은 트래픽 지연과 손실이 에이전트 기반으로 하는 알고리즘과 비교했을 때 발생하는 빈도가 훨씬 많은 것을 알 수 있다.

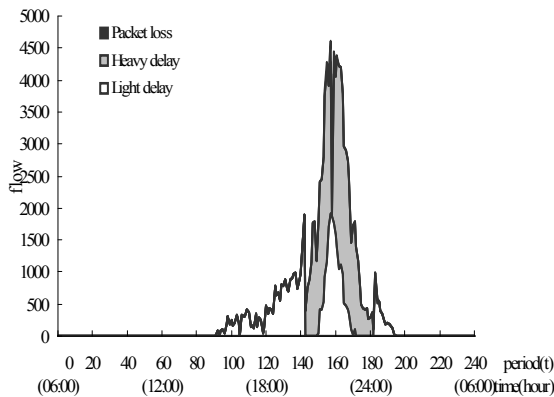


그림. 8. 다품종 최소비용 알고리즘의 지연과 손실 (PusanNet의 경우)

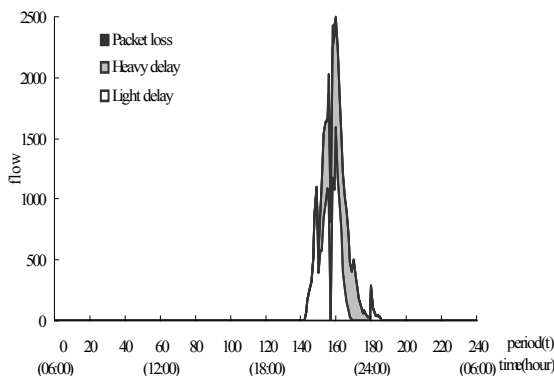


그림. 9. 에이전트 기반 알고리즘의 지연과 손실 (PusanNet의 경우)

4. 결론

제안된 에이전트 기반의 알고리즘에서는 주어진 네트워크에서 에이전트들이 페로몬 리스트에 네트워크의 변화하는 상태를 기록하기 위해 각 경로 흐름의 트래픽을 관찰한다. 에이전트 특성을 직접 트래픽 경로를 설정하는데 이용할 수 없었지만 우리는 이런 특성을 수리계획 모델을 기반으로 하여 적용할 수 있었다. MMCNFP에 대하여 에이전트 라우팅 알고리즘을 사용하지 않는 주된 이유는 링크 제약과 다품종 흐름(복수 시점과 복수 종점)을 고려해야 하기 때문이다. 에이전트 알고리즘은 하나의 시점에서 하나의 종점까지의 최단경로문제나 순환의 판원문제와 같은 상대적으로 간단한 조합최적화 문제에 효과적이다. 또한 데이터가 자주 변화하는 동적인 환경에 대해 매우 뛰어난 성능을 발휘한다. 그래서 우리는 네트워크 트래픽이 변화하는 것을 모니터링하고 개선시키기 위해 에이전트 알고리즘을 사용하였고 복잡한 구조에 대해 효과적인 알고리즘을 이용해 문제를 해결할 수 있었다.

에이전트 알고리즘은 일반적인 발견적 기법과 결합될 수 있다. 우리는 일반적인 발견적 기법이 아니라 정확한 알고리즘을 에이전트 알고리즘과 결합하려고 시도했다. 이러한 접근은 복잡한 구조를 갖고 다루기 쉬워야 하는 문제에 대하여 고려해 볼 수 있다. 여기서, 이 문제는 일반적인 발견적 기법에 대해 상대적으로 복잡한 구조를 가지며, 또한 어떤 부분에 대해서는 정확한 알고리즘으로 접근하는 것보다 다루기 쉬울 필요가 있다. 복수 기간 최적화문제와 확률 또는 퍼지 최적화 문제는 추후 연구될 수 있는 좋은 화제들 가운데 하나이다. 또한 에이전트 기반의 데이터 마이닝도 이런 방향의 좋은 연구 주제 중에 하나이다.

참고문헌

1. H. Lee and G-W. Choi, QoS Routing in Virtual Switched Path Networks, submitted Proceedings of IWQoS-06, New Heaven, USA, 2006.
2. G. Di Caro and M. Dorigo, AntNet: a mobile agents approach to adaptive routing, Tech. Rep. IRIDIA/97-12, UniversiteLibre de Bruxelles, Belgium, 1997.
3. G. Di Caro and M. Dorigo, AntNet: Distributed Stigmergetic Control for Communications Networks, Journal of Artificial Intelligence Research 9, pp.317-365, 1998.
4. R. Schoonderwoerd, O. Holland, J. Bruten and L. Rothkrantz, Ant-based Load Balancing in Telecommunication Networks, Adaptive Behavior, vol.5, pp.169-207, 1996.
5. Z. Subing and L. Zemin, A QoS routing algorithm based on ant algorithm, ICC 2001-IEEE International Conference on Communications, vol.5, No.1, pp.1587-1591, June 2001.
6. C-H. Chu, J-H. Gu, X.D. Hou and Q. Gu, A heuristic ant algorithm for solving QoS multicast routing problem, Evolutionary Computation, CEC'02. vol.2, pp.1630-1635, May 2002.
7. K. Oida and M. Sekido. An agent-based routing system for QoS guarantees, Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and

- Cybernetics, vol.3, pp.833 -838, Oct. 1999.
8. Carrillo L., Marzo J.L., Vil'a P., Fabrega L. and Guadall C. A Quality of Service Routing Scheme for Packet Switched Networks Based on Ant Colony Behavior, SPECTS 2004, San Jose, USA, July 25 - 29, 2004.
 9. B. Baran and R. Sosa. AntNet: Routing Algorithm for Data Networks Based on Mobile Agents, Argentine Symposium on Artificial Intelligence ASAI-2000, Tandil, Argentina, 2000.