

분산 네트워크에서 안전한 전송을 위한 알고리즘에 관한 연구

김태경¹ · 서희석^{2*} · 이동영³

A Study for Algorithm of Safe Transmission in Distributed Network

Tae-Kyung Kim · Hee-Suk Seo · Dong-Young Lee

ABSTRACT

분산 네트워크의 사용이 증가함에 따라 분산 작업을 신뢰성 있게 수행하기 위한 연구가 중요한 이슈로 등장하고 있다. 분산 네트워크에서의 작업의 수행은 인터넷 상의 유효자원에서 수행되므로, 가용한 자원에까지 효율적으로 접근할 수 있는가와 수행된 결과가 안정적으로 요청자에게 전달되는 것은 중요한 문제이다. 그래서 본 논문에서는 작업의 수행을 요청하는 곳에서 실제 작업이 실행되는 위치의 자원까지 데이터를 안전하게 전송하기 위한 생존성 인자를 설정하고, 생존성 인자의 값에 따른 데이터 전송속도를 측정하기 위한 성능평가를 수행하였다. 또한 제시한 생존성 인자를 활용한 안전한 전송을 보장할 수 있는 전송 알고리즘을 제시하였다.

Key words : Distributed network, Data transmission, Survivability

요약

The reliability of processing the distributed application becomes more and more important issues in distributed network as the usage of distributed network increases. Because the distributed network applications are processed in the available resources of Internet. It is important factors that the user can efficiently access the available resources and processed results can be delivered to the user of job request. Therefore in this paper, we suggested the survivability factor for sending data safely whether it can be efficiently accessed between the user and available resource which processes the distributed application. And evaluated the performance of the suggested factor using the data transmission time. Also we suggested the transmission algorithm for safe transmission using the survivability factor.

주요어 : 분산 네트워크, 데이터 전송, 생존성

1. 서론

컴퓨터의 급속한 발달로 인하여 네트워크의 사용이 우리 생활과 밀접한 관련성을 맺게 되었으며, 이를 통하여 다양한 정보들의 전송 및 다양한 응용들이 수행되고 있다. 특히 유비쿼터스 네트워크가 등장하면서 사물제어, 상황처리, 실시간 처리와 지능형 처리 등이 가능하게 되었으며 지능형 로봇, 홈 네트워크, 차세대 이동통신, 텔레메틱

스 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

그러나 네트워크에 발생한 고장이나 문제가 장시간 지속되는 경우에는 사회와 기업에 경제적으로 심각한 영향을 미치게 된다. 그러므로 유비쿼터스 네트워크와 같은 분산 네트워크 환경에서는 안전한 정보 전송을 위한 생존성 인자와 전송 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

분산 네트워크의 대표적인 시스템으로는 그리드 네트워크를 예로 들 수 있다. 그리드 네트워크는 지리적으로 분산되어 있는 고성능 컴퓨터 자원을 네트워크로 상호연동하여 조직과 지역에 관계없이 사용할 수 있는 환경을 말한다. 그리드는 네트워크, 통신, 연산, 정보자원을 통합하여 동일한 방식으로 연산과 데이터 관리를 위한 가상의 플랫폼을 제공하는 것으로, 인터넷에서 자원을 통합하여 정보를 위한 가상의 플랫폼을 구성한다. 즉, 그리드 기반 구조는 능동적으로 자원을 결합하여 대규모의 많은 자원

2008년 12월 2일 접수, 2009년 2월 11일 채택

¹⁾ 서울신학대학교 교양학부

²⁾ 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부

³⁾ 명지전문대학 정보통신과

주저자: 김태경

교신저자: 서희석

E-mail: histone@kut.ac.kr

을 필요로 하는 분산 응용 프로그램을 수행할 수 있는 능력을 제공한다^[1]. 그리드 환경에서는 대규모 프로그램을 수행하기 위한 방대한 데이터로 인한 IP 트래픽의 폭발적 증가로 전송망에서 고속 대용량화와 IP, ATM, GbE, TbE 등의 다양한 멀티 서비스의 제공이 기본적으로 요구되고 있다. 그리드 서비스 환경이 데이터 중심(data-intensive)으로 이동 되면서 그리드 네트워크를 IP, ATM의 서비스 계층과 전송 계층으로 구분해서 보면 전송망의 역할은 전송 계층으로서 네트워크의 생존성(survivability)과 확장성(scalability)을 보장하는 것이 중요한 이슈로 등장하게 되었다.

본 논문에서는 다양한 라우팅 알고리즘 중에서 분산 네트워크인 그리드 자원에 효율적으로 접근 가능한지의 정도를 생존성 측면에서 분석을 수행하였다. 논문의 구성을 살펴보면, 2장에서는 관련연구에 대해서 살펴보고, 3장에서는 생존성의 인자의 설정 및 성능평가를 수행하였으며, 생존성을 보장할 수 있는 전송 알고리즘을 제시하였다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대하여 언급하였다.

2. 관련 연구

생존성이란 한 네트워크에서 장애나 침입이 발생한 이후에도 네트워크에서 가용한 성능을 이용하여 계속적으로 서비스를 제공할 수 있는가를 평가하기 위해 사용된다. 생존성 분석은 장애나 침입 이후 시스템에 남아있는 기능성의 정도를 측정하여 시스템의 정상적인 동작뿐만 아니라 장애 발생 동안 네트워크 성능의 질을 평가하는 성능요소로 구성된다. 이러한 생존성은 높은 신뢰성을 제공할 수 있는 네트워크 요소를 개발하는 의미에서 디바이스 계층에 초점을 둘 수 있으며, 네트워크의 구조, 설계, 동작 과정에 여분의 기능성을 포함시킴으로써 네트워크 계층에도 초점을 둘 수 있다^[2]. 네트워크 장애에 대한 가용성이나 성능이 하나의 네트워크의 신뢰성을 평가하는데 중요한 측정 요소로서 주목되는 반면에 네트워크 생존성을 보장하면서 네트워크를 설계, 구성하는 것은 전체 네트워크의 신뢰성을 위해 상당히 중요한 요소이다^[3-5]. 네트워크 생존성은 링크 혹은 노드의 장애에 대한 연결성(connectivity)을 유지하는 것이며, 이러한 생존성을 보장하기 위해 고려해야 할 특징적 개념으로는 보호/예방(protection/prevention)과 회복(restoration)이 있다. 그 각각의 개념은 다음과 같다.

■ 보호/예방(protection/prevention)

네트워크 생존성을 보장하는 의미에서 보호라는 것은 네트워크상에 장애가 발생하였을 경우 여유 자원을 이용하여 수십 ms 시간 이내에 서비스를 투명하게 지원할 수 있도록 즉시 복구할 수 있는 능력을 의미한다.

■ 회복(restoration)

회복(restoration)은 네트워크상의 적절한 예비 용량을 활용하여 네트워크의 전부 혹은 제한된 복구를 의미하며, 보호를 포함한 포괄적인 개념으로 사용된다. 따라서 네트워크의 링크 혹은 노드의 여유 자원(redundancy)을 이용하고 회복에 대한 다양하고 효과적인 메커니즘 및 알고리즘을 개발해야 한다.

여기서 예방 기술은 기술적인 장애나 네트워크상의 충돌 및 장애, 처리상의 에러 그리고 네트워크 트래픽의 오버로드 등으로 인해 발생할 수 있는 네트워크 노드와 링크 상의 장애의 발생 빈도를 줄이거나 발생으로부터 보호하는 기술이라 할 수 있다. 예방 기술은 주로 한 네트워크 안에 속한 컴포넌트들과 시스템의 신뢰성을 향상키는 것에 초점을 두고 있다. 하나의 예로서 네트워크 스위치에서 결함 내성 하드웨어 구조를 사용하는 것과 네트워크 컴포넌트들을 위해 backup power supply를 준비하는 것이다.

만약 예방 전략이 위에서 설명한 서비스의 신뢰성과 가용성을 효과적으로 충족시키지 못하면 그 다음 전략으로써 위험 완화/보호 전략이 사용되며, 이것이 네트워크 회복 메커니즘이다^[6]. 트래픽 관리와 회복 처리 기술은 장애가 발생하였을 때 피해를 최소화 하고 장애에 의한 연결 상의 영향을 네트워크가 안정성을 유지할 때까지 회복하는 것과 같은 네트워크 부하에서 추구될 수 있다. 장애 후에 남아있는 사용 가능한 용량을 만들기 위해 동적인 장애 회복 라우팅 알고리즘의 사용하는 것이 그 예이다.

정보 시스템의 장애는 종종 중요한 서비스의 손실을 야기하게 되며 따라서 장비간의 의존성이 중요한 관심으로 떠오르고 있다. 현재 이러한 의존성의 양상은 신뢰성과 가용성으로써 표현되고 있지만 이러한 특성은 정확한 요구사항으로서 서비스 상태에 대한 개념을 포함하고 있지 않기 때문에 중요한 정보 시스템의 필요성으로 주목되지 않고 있다^[7]. 따라서 어떤 응용의 장애가 서비스의 감소를 야기하는지에 대한 정확한 개념이 요구되며 각 상태에 어떤 요인이 적용되는지 분석하는 것이 필요하다. 네트워크 생존성이 필요한 상황의 예로써는 스토리지 결함, 네트워크 중단, 컴퓨터의 중단 그리고 크기는 전체 사이

트의 마비 등이 있다.

생존성에 관한 연구로서는 R. C. Linger^[8] 등이 생존성을 보장하기 위한 요구사항으로써 시스템 측면에서의 요구 사항과 네트워크 서비스 측면에서의 요구사항을 구분하여 제시하였다. 또한 Kyamakya의 연구^[6]에서는 네트워크 보호/회복 메커니즘을 제시 하였는데, 트래픽 관리와 회복 처리 기술은 장애가 발생하였을 때 피해를 최소로 하고 장애에 의한 연결 상의 영향을 네트워크가 안정성을 유지할 때까지 회복하는 것과 같은 기능을 제공한다. 그리고 Somesh의 연구^[7]에서는 네트워크 설계와 용량 할당 기술에 대해 제시를 하였는데, 네트워크 토폴로지 안에 다양하고 충분한 용량을 배치함으로써 네트워크 링크의 손실과 같은 장애에 대해 시스템의 위험을 완화시키기 위한 기술이다. 이외에도 생존성 향상을 위한 네트워크 관리 시스템의 구조에 대한 연구^[9]와 보안 측면에서의 주요정보통신기반을 구축하기 위한 생존성에 대한 연구가 수행되었다. 이외에도 WDM Passive 광 네트워크에서 생존성 보장을 위한 네트워크 구조에 대한 연구를 수행하였다^[11].

본 논문에서는 분산 네트워크인 그리드 네트워크 환경에서 생존성을 평가하기 위해서 생존성 인자들을 설정하였으며, 그 인자를 이용하여 그리드 네트워크 환경에 적합한 라우팅 알고리즘을 선정하기 위한 평가를 수행하였다.

3. 생존성 인자 및 전송 알고리즘

3.1 생존성 인자

생존성 인자로서 본 논문에서는 경로 보호율을 사용하였다. 경로 보호율은 하나의 경로가 얼마나 많이 보호될 수 있는 가를 나타내는 것이다. 이 인자는 대체 가능한 경로가 현재의 경로보다 더 많은 성능을 제공한다면 경로 보호율의 값은 100%가 된다. 그러나 만약 대체 가능한 경로가 원래 경로 성능의 40%만을 제공한다면, 경로 보호율의 값은 40%이다. 경로 보호율(Path Protection Ratio: PRi)을 구하는 수식은 다음과 같다.

$$Path\ Protection\ Ratio(PR_i) = \frac{\min(w_i, k_i)}{w_i}$$

w_i : capacity of path i

k_i : capacity of available alternate path j

경로 보호율에서 경로 i 의 성능(capacity)은 일반적으로

로 대역폭 지연산출(bandwidth delay product) 값으로 간주된다. 대역폭 지연산출은 종단 포인트들 사이의 전송능력의 크기를 의미하며 산출식은 아래와 같다.

$$capacity = throughput \times round_trip\ time$$

$throughput$: bits

$round_trip\ time$: sec

또한 경로 보호율 뿐만 아니라, 근접성에 대한 고려도 필요하다. 근접성(Closeness)은 네트워크에서 노드가 인접하거나 혹은 다른 노드에 도달할 수 있는 정도를 나타낸다. 즉, 근접성 값이 작을수록 노드가 네트워크 중심에 더 근접하게 위치해 있음을 나타내는 것이다. 아무리 좋은 대체 경로가 존재하더라도 현재 경로에서 멀리 떨어져 있다면 시간 지연으로 인하여 효율성이 떨어질 수 있기 때문이다.

일반적으로 근접성을 계산하기 위해서는 두 지점 사이의 홉의 수를 계산하기도 하지만 이를 좀 더 정확히 측정하기 위해서는 임의의 두 사이트간의 네트워크 특성들을 고려하는 것이 필요하다. 네트워크 근접성을 측정하기 위한 네트워크 특성 인자로는 RTT, packet loss frequency 그리고 throughput이 있다.

네트워크 인자들을 가지고 두 노드 N_i 와 N_j 간의 네트워크 근접성($C_{(i,j)}$)에 대한 성능 측정은 다음과 같은 수식을 이용하여 계산할 수 있다^[10].

$$C_{(i,j)} = \begin{cases} 0 & \text{if } lfp_{i,j} > T \\ 1 & \text{if } lfp_{i,j} = 0 \\ \frac{th_{i,j}}{th_{max}} \alpha^{\frac{rtt_{i,j}}{rtt_{max}}} & \text{Otherwise} \end{cases}$$

단, 각 인자의 정의는 다음과 같다.

$lfp_{i,j}$ = link failure probability of node i and j

$th_{i,j}$ = throughput of node i and j

$rtt_{i,j}$ = round trip time of node i and j

또한 T 의 값은 주어진 분산 네트워크에서 가용할 수 있는 최대 패킷 손실 확률의 임계치 값이다. 이 값은 네트워크 상황에 따라 초기 수치값을 입력한 후에 계속적으로 상황에 맞게 수정해야 한다. 마지막으로 α 는 범위 $[0, 1]$ 사이의 변수로서 α 가 1에 가까우면 throughput에, 0에 가까우면 Round trip time에 근접성의 값이 영향을 받게 된

다. 그러므로 α 의 값은 패킷 손실률과 Round trip time의 시간을 고려하여 적절한 값을 선택해야 한다.

그러므로 네트워크 생존성 인자인 네트워크 경로 보호율(Network Path Protection Ratio)은 다음의 수식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$NPR_i = \frac{\sum_j \min(w_i, k_j)}{\sum_i w_i} \times C_{i,j}$$

즉, 네트워크의 생존성 평가를 위하여 대체 경로의 성능뿐만 아니라 그 근접성까지 고려하여 네트워크 경로 보호율로 설정하므로, 실제 다른 경로를 설정하였을 경우에 전체적인 효율성을 고려하였다.

3.2 라우팅 알고리즘의 성능평가

시뮬레이션을 수행한 환경은 다음과 같다.

- 모든 link의 throughput은 일정하다고 가정
- α 는 0.9로 설정
- RTT는 각 link당 150msec로 설정
- 전체 노드 수: 25nodes(모두 같은 거리의 격자로 구성)
- ftp 프로그램을 이용하여 패킷을 전송
- 성능평가에 사용한 라우팅 알고리즘으로는 LR(Local Routing), LDR(Local Destination Routing), SDR(Source Destination Routing)의 동기/비동기 전송 시의 라우팅 방법을 사용하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

- Local Routing: 이 라우팅 방법은 link fail이 발생한 경우, 출발지나 목적지를 고려하지 않고, 지역적으로 가용한 경로로 라우팅하는 방법이다.
- Source Destination Routing: Local Routing과는 달리 링크 link fail이 발생하면 출발지로부터 목적지로 가는 대체 경로를 출발지로부터 다시 설정하는 방법이다.
- Local Destination Routing: Local Routing과 유사하지만 다만 목적지를 고려하여 대체 경로를 설정한다는 점이 차이점이다.

네트워크의 환경은 다음 그림 1과 같이 설정하였다. 제시한 인자의 유효성을 제시하기 위한 시뮬레이션에서는 link fail로 인한 영향만을 고려하였으며, 최대 3개의 link에서 fail이 발생하고 서로 독립적으로 발생한다고 가정하였다.

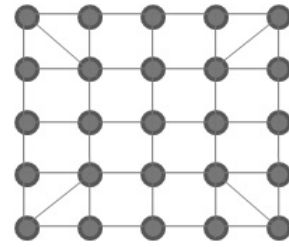


그림 1. 25 Nodes mesh network

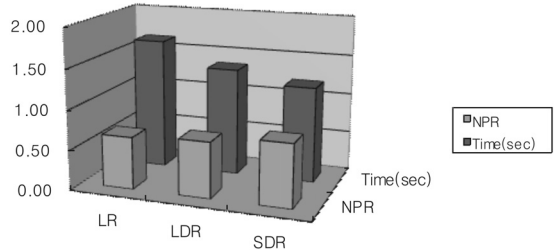


그림 2. 시뮬레이션 수행 결과

시뮬레이션의 결과는 다음과 같다. 3가지 라우팅 알고리즘에 대해서 Local Routing은 성능이 가장 나쁜 것으로 나타났으며, Local Destination Routing 방법은 중간 정도 그리고 Source Destination Routing 방법이 네트워크 경로 보호율 측정에서 가장 좋은 성능을 제공하는 것으로 분석되었다. 그러나 Local Routing 방법은 가장 적게 메모리를 사용하게 되며, Source Destination Routing은 훨씬 더 많은 메모리를 사용한다는 단점을 가지고 있다. 그러나 메모리의 가격이 점점 더 하락하고 있는 추세이므로, Source Destination Routing 방법이 분산 네트워크 환경에서는 우수한 특성을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션의 결과를 통해 알 수 있는 것은 분산 네트워크 어플리케이션의 효과적인 실행과 정보 전달을 보장하기 위해서는 end-to-end의 정확한 전송을 보장할 수 있는 SDR 라우팅 메커니즘이 적용되는 것이 가장 좋은 것을 알 수 있다. 또한 본 논문에서 제시한 생존성 인자인 네트워크 경로 보호율이 높아짐에 따라 전송시간도 단축된다는 것을 알 수 있다. 그러므로 중요한 정보 전송 및 안전한 전송을 위해서는 네트워크 경로 보호율을 측정하여, 가장 안정적인 방법으로 패킷을 전송해야 한다.

네트워크의 성능을 측정할 수 있는 인자들은 네트워크 지연, 손실, 지터 등 다양한 인자가 존재하나 분산 네트워크 환경에서는 네트워크 경로 보호율 인자가 데이터의 전달의 효율성 및 빠른 전송시간과 밀접한 관련이 있는 것을 알 수 있다.

```

Begin_Procedure
  All non-restorable paths have the throughput 0.
  IF the source node has some packets to send
    For each link Do
      Calculate the NPRi for all path i from
        source to destination
      Calculate the sum of obtained NPRi over all
        the paths
    End_For
    Choose the paths of highest value of NPRi
      from source to destination
  End_If
End_Procedure
    
```

그림 3. 생존성을 고려한 전송 알고리즘

3.3 생존성을 위한 전송 알고리즘

생존성을 보장하기 위한 전송 알고리즘은 다음과 같이 설정할 수 있다. 출발지로부터 목적지에 이르는 모든 경로에 대해서 네트워크 경로 보호율을 계산하여 가장 높은 값을 가지는 경로를 이용하여 데이터를 전송하는 알고리즘이다.

네트워크를 통해 전송되는 정보 중에는 네트워크의 상황에 관계없이 정확히 전달되어야 하는 국가나 군사 혹은 주요 제어 정보들이 있다. 이러한 정보들은 안전한 전송을 위하여 전송되기 전에 생존성 인자들의 값을 계산한 후 가장 안정적인 경로로 전송이 되어야 한다. 그림 3에서는 네트워크의 경로에 fail이 발생한 경우에도 안정적으로 정보를 전달할 수 있도록 각 경로 별로 네트워크 경로 보호율을 계산하여 가장 안정적인 경로로 데이터를 전송하도록 하였다.

4. 결론 및 향후 연구계획

네트워크의 지속적인 발전으로 인하여 우리의 생활 전반에 걸쳐 많은 영역에서 다양한 네트워크들이 사용되고 있다. 이러한 네트워크는 분산된 형태를 취하고 있으며, 중요한 정보들이 다양한 방법으로 전송되고 있다.

본 논문에서는 네트워크의 생존성 즉 패킷을 출발지에서 목적지까지 안전하게 전송할 수 있는 방안에 대한 연구로서 네트워크 경로 보호율이라는 인자를 설정하여 세 가지 라우팅 방법에 대해서 성능평가를 수행하였다. 성능평가의 결과 네트워크 경로 보호율의 값이 클수록 안정적으로 패킷을 전송할 수 있으며, 그 전송속도 또한 높은 것

으로 분석되었다.

향후 연구과제로는 유비쿼터스 네트워크 및 홈 네트워크 환경에서 네트워크의 생존성을 보장하는 방안에 대해서 연구를 수행할 계획이다.

참고 문헌

1. I. C. Foster and A. Imanitchi, "On Death, Taxes and the Convergence of Peer-to-Peer and Grid Computing", 2nd International Workshop on Peer-to-Peer Systems, (IPTPS03), 2003.
2. T. Ferrari, F. Giacomini, "Network Monitoring for GRID Performance Optimization", Submitted for publication on the Special Issue of Computer Communications, March 2002.
3. Somesh Jha, Jeannette M. Wing, "Survivability Analysis of Networked Systems", 23rd International Conference on Software Engineering (ICSE'01), 2001.
4. J. Voas, G. McGraw, and A. Ghosh. "Reducing uncertainty about survivability", In Proceedings of the 1997 Information Survivability Workshop, Feb 1997.
5. Deepankar Medhi, "Network Reliability and Fault Tolerance", Department of Computer Networking, University of Missouri-Kansas City.
6. Kyamakya Kyandoghere, "Survivability Performance Analysis of Rerouting Schemes in an ATM/VP Mesh Transport Network", Journal of Information Science and Engineering 17, 191-216, 2001.
7. Somesh Jha, Jeannette M. Wing, "Survivability Analysis of Networked Systems", 23rd International Conference on Software Engineering (ICSE'01), 2001.
8. R. C. Linger, N. R. Mead, H. F. Lipson, "Requirements Definition for Survivable Network Systems", 1998 International Conference on Requirements Engineering (ICRE '98), Colorado Springs, CO, April, 1998.
9. 이중수, 조평동, 김남훈, 이영희, "생존성 향상을 위한 네트워크 관리 시스템의 구조", 정보과학회 논문지 Vol. 27 No. 4, 2000년 12월.
10. T. Ferrari, F. Giacomini, "Network Monitoring for GRID Performance Optimization", Submitted for publication on the Special Issue of Computer Communications, March 2002.
11. Calvin C K Chan, Lian-Kuan Chen and Chinlon Lin, "Novel Network Architectures for Survivable WDM Passive Optical Networks", 34th European Conference and Exhibition on Optical Communication, Sep. 2008.



김 태 경 (tkkim@stu.ac.kr)

1997 단국대학교 수학교육과(이학사)
2001 성균관대학교 정보통신공학과(공학석사)
2005 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과(공학박사)
2006~2008 서일대학 정보기술계열 정보전자전공 교수
2008~현재 서울신학대학교 교양학부 교수

관심분야 : 네트워크보안, 그리드 네트워크, USN



서 희 석 (histone@kut.ac.kr)

2000 성균관대학교 산업공학과(공학사)
2002 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과(공학석사)
2004~2005 (주)정보감리평가원 선임연구원
2005 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과(공학박사)
2005~현재 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부 정보보호전공 교수

관심분야 : 네트워크보안, 보안 시뮬레이션, USN



이 동 영 (dylee@mail.mjc.ac.kr)

1993 동아대학교 전자공학과(학사)
1998 성균관대학교 정보공학(석사)
1993~1997 기아자동차 중앙기술연구소 연구원
2002 성균관대학교 컴퓨터공학(박사)
2003~현재 명지전문대학 정보통신과 교수

관심분야 : 네트워크보안, 홈 네트워크, USN