

논문 2009-6-17

효율적 비용의 서바이벌 네트워크 설계방안

Design Method for Cost Efficient Survivable Network

송명규*

Myeong-Kyu Song

요 약 본 논문에서는 일반적인 서바이벌특성을 2가지 형태로 분류하여 그 특징을 살펴보고, 네트워크에 이용 가능한 형태를 찾는다. 그리고 이중홈 방식을 이용하여 네트워크 형태에 따른 비용을 분석한다. 또한 서바이벌특성을 가능하게 해주는 네트워크의 물리구조를 최소비용으로 설계할 수 있는 휴리스틱알고리즘을 제안하고 그 결과를 분석하여 실제 네트워크설계에 쉽게 적용할 수 있음을 보인다.

Abstract There are two types of survivability. We find the characteristics of them for networks. And using the dual homing, we analysis the routing cost and link cost. Also we propose the cost-efficient heuristic design method of network topology in order to use survivability. By design samples, we analysis the cost efficiency and show that the new design method can be used to design network topology for survivability easily.

Key Words : Dual homing, IP network, Survivability, Network cost, Topology

I. 서 론

서바이벌특성이란 전통적으로 열악하거나 적대적인 환경을 극복하기 위한 군사적 시스템에서 정의 되었다. 예를 들면 항공전투에 있어서 서바이벌특성을 위한 설계 기술, 장비, 전술 등이 분석된 것이다.[1] 서바이벌특성은 주위의 간섭이나 방해에 덜 영향을 받게 하는 것이다. 즉 외부 혹은 내부의 장애요소에 대해서 그 충격을 최소화 할 수 있는 시스템의 특성으로 정의할 수 있다.[2] 군사적 목적으로 정의되었던 서바이벌 특성을 여러 분야에 적용할 수 있다. 특히 네트워크분야에서 활발한 연구가 진행되었다.[3,4,5] 본 논문에서는 일반적인 서바이벌특성을 2가지 형태로 분류하여 그 특징을 살펴보고, 네트워크에 이용 가능한 형태를 찾는다. 네트워크의 형태는 크게 링(Ring)형과 메쉬(형)으로 나눌 수 있고 이 두 가지 네트워크 형태에 서바이벌특성을 적용시켜서 비용 면에서 그 결과를 분석한다. 그리고 네트워크의 서바이벌 특성

을 가능하게 하는 근본적인 네트워크 토폴로지를 설계하는 단순하지만 유용한 휴리스틱알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은[9,10]에서 제안된 방식을 더욱 단순하게 비용과 서바이벌특성만 고려할 수 있도록 수정하였다. 그런데 링 형은 이미 서바이벌특성이 적용 가능한 형태이므로 메쉬형을 기본으로 한다. 설계 예를 통해 그 결과를 역시 비용적인 측면에서 분석하고 제안된 알고리즘이 비용면에서 효율적임을 보인다.

II. 서바이벌 시스템특성

1. 서바이벌 특성

서바이벌특성은 두 가지 형태로 정의될 수 있다. 즉 장애요소에 대해서 최대한 영향을 받지 않도록 하는 특성(형태 I)이 그 첫 번째이고, 유한한 장애가 발생 하고 있거나 그 이후에 시스템 동작의 임계값(주로 최소값 지정)을 보장할 수 있는 특징(형태 II)이 두 번째이다. 이

*정회원, 남서울대학교 정보통신공학과
접수일자 2009.11.23, 수정일자 2009.12.9

두가지 형태에 따라서 시스템 설계특성이 정리되었다.[8] 여기서 각 형태에 따른 각각 6가지의 설계원리가 정의 된다. 형태 I의 설계원리는 방지(Prevention), 이동(Mobility), 은폐(Concealment), 억제(Deterrence), 우선순위(Preemption), 회피(Avoidance) 등이고 형태 II의 설계원리는 견고함(Hardness), 진화(Evolution), 여분(Redundancy), 확산(Diversity), 대체(Replacement), 수리(Repair) 등이다. 이들 설계모델의 기본이 되는 네트워크 서바이벌특성 프레임워크가 그림1에 나타나 있다. ([8]참조)

그림 2는 서바이벌 특성과 각각의 설계원리와의 관계를 나타내고 있다. 고경된 환경에서 시간에 따른 영역의 구분으로 표현 되었다. 시구간 1a에서는 성공적인 값을 유지하는 상태이고, 시구간 2에서는 방해(장애)의 영향으로 성능이 저하된 상태를 나타낸다. 일단 방해요소의 영향을 받으면 환경은 원래의 상태(시구간 1b)로 돌아갈 수 있는 능력이 서바이벌 특성이 된다. 따라서 이능력을 판단하기위해 다음과 같은 요소가 정의 되었다.

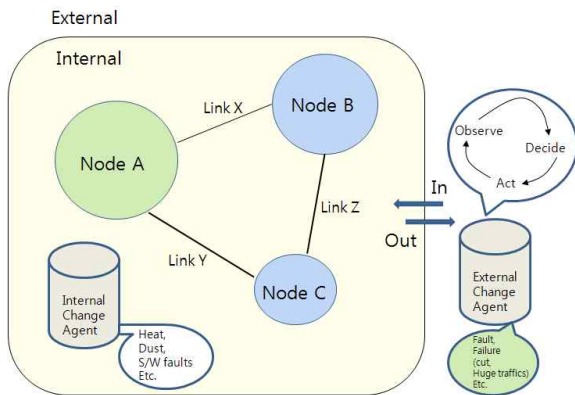


그림 1. 네트워크 서바이벌특성 프레임워크
Fig. 1 Framework for Network Survivability

그림 2에서 시스템은 형태 II 서바이벌 특성을 이룬다. 이것은 전달되는 $V(t)$ 값을 유지하게 되는데 V_e 보다 커야 한다. 복구 후에는 $V(t)$ 가 V_x 보다 커야한다. 형태 I의 서바이벌 특성은 방해요소에 의해서라도 기댓값이 V_x 보다 내려가서는 않된다. 그리고 비슷한 그림에서 상대적으로 직선으로 특성이 나타나야 한다.

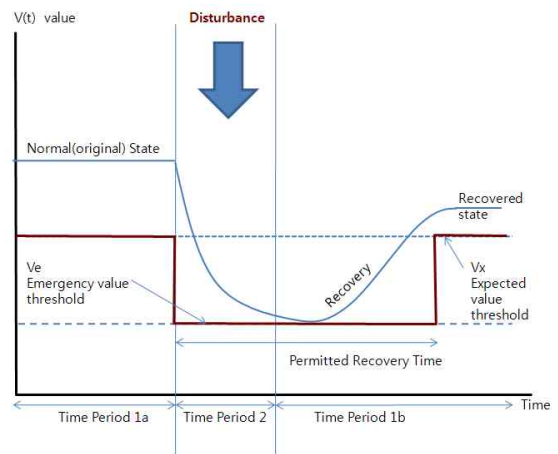


그림 2. 시구간 모델
Fig. 2 Timing Model

V_e : 장애 중에 받아들일 수 있는 값의 최소치

T_r : 장애 발생 후 허용되는 복구시간

V_x : 복구 후 받아들일 수 있는 값의 최소치

본 논문에서는 네트워크상에서 가장 일반적으로 적용할 수 있는 형태 II의 여분(Redundancy)원리에 입각해서 서바이벌 특성을 유지하면서 비용을 줄일 수 있는 방법을 다룬다.

2. 서바이벌 네트워크

실제로 서바이벌특성을 갖는 네트워크에 관해서는 부분적인 연구는 많이 되고 있으나 일반적으로 적용할 수 있는 최적의 알고리즘은 아직 존재하지 않는다. 이는 생물학적 면역시스템특성을 서바이벌기능을 갖는 네트워크설계에 적용하려는 연구[8]까지 등장한 것으로 확인할 수 있다. 제안된 방법 들은 일반적으로 쉽게 실제설계에 적용 시킬 수 있는 휴리스틱한 설계방법이다.

앞 절에서 언급 한것과 같이 12가지의 설계 특성 중 네트워크분야에서 가장 보편적으로 사용할 수 있는 것이 여분(redundancy)특성이다. 그림 3에서 여분특성을 적용한 서바이벌 기능을 나타내었다. 노드 A와 링크 X와 Y에 대한 여분이 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 이 여분의 정도가 비용에 크게 관련됨을 보일 것이다.

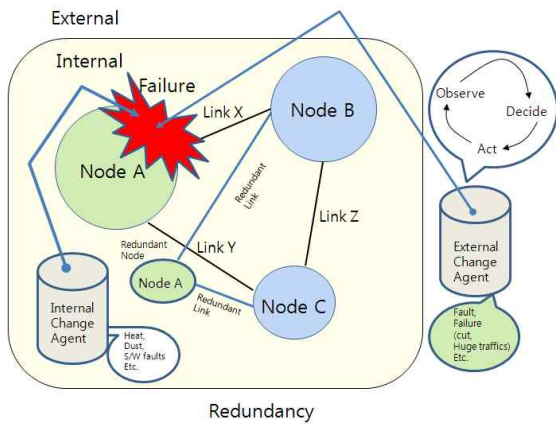


그림 3. 여분을 이용한 서바이벌특성적용
Fig. 3. Survivability using Redundancy

III. 이중홈방식(dual homing)

최근에 네트워크를 가장 많이 이용하는 형태가 인터넷사용일 것이다. 물리적인 광섬유를 이용한 WDM망이 인터넷의 기반이 된다. 이때 이중 홈 광패스(light path)를 이용하면 비용(특히 대역폭 비용)을 상당히 줄일 수 있다.[13] 여기서는 8개 노드를 갖는 링형과 5x5그리드(grid)형태의 두가지를 기본으로 비용이 계산되었다. 그림 4에 WDM 망과 IP망의 예를 들었고 그림 5가 WDM 상의 IP망 적용 예를 나타내고 있다.

그림 6에 이중홈방식의 개념이 나타나 있다 장애발생 시에도 각각의 노드가 서로 연결상태를 유지함을 알 수 있다. 다양한 서바이벌구현방식[9]중에서 비보호(unprotected)방식과 1+1보호방식 그리고 이중홈방식의 3가지에 대한 비용을 계산하였다. 비용은 경로비용으로 다음과 같은 정의의 의해서 계산 되었다.

비보호(unprotected)방식의 비용은 임의의 두 노드 사이에 최단경로의 평균 홉(hop)수로 나타내었고, 1+1보호(Protection)방식에서는 임의의 노드쌍 사이에 비 중복 패스(path)의 최단거리 홉 수이다. 이중 홈 광 패스 방식의 비용은 임의의 3개 노드 사이에서 링크 비중복 패스의 최단 평균 홉 수이다. 본 논문에서는 그림 7에 나타난 6개의 노드를 갖는 네트워크에 대해서 그 비용을 계산하였다. 이들 형태는 링 형과 메쉬형태의 네트워크 모두를 대표할 수 있다. 링크수의 증가와 비용의 상관관계를 비교해보고 서바이벌 특성을 지원할 수 있는 물리구조 설계시 비용요소로 활용한다.

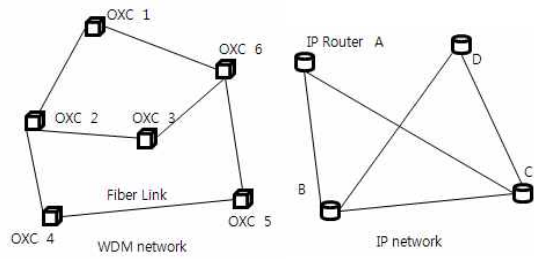


그림 4. WDM 망과 IP 망
Fig. 4. WDM network and IP network

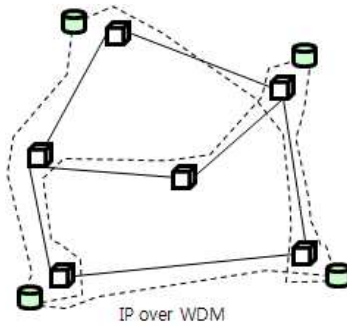


그림 5. WDM상의 IP
Fig. 5. WDM over IP

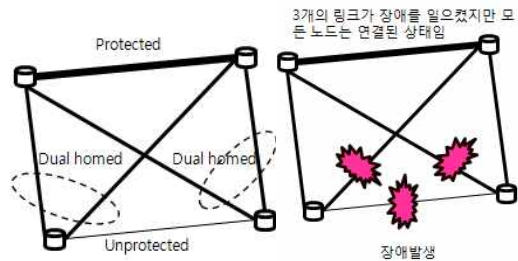


그림 6. 이중홈방식특성
Fig. 6. The characteristic of dual homing

그림 7에서 가)는 링형태이다. 나)는 모든 노드가 서로 하나의 링크로 직접 연결된 형태(full mesh)이다. 경로비용은 최적이지만 규모가 큰 네트워크 설치시 현실적으로 불가능한 형태이다. 다)~바)는 일반적 메쉬형태로 링크수의 증가가 경로비용에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 비용계산의 결과가 표 1과 그림 8에 나타나 있다. 그림에서 ▲는 비보호방식이고 ■는 1+1보호방식 그리고 ●는 이중홈방식이다. 이중홈방식이 비용면에서 유리함을 확인할 수 있다.

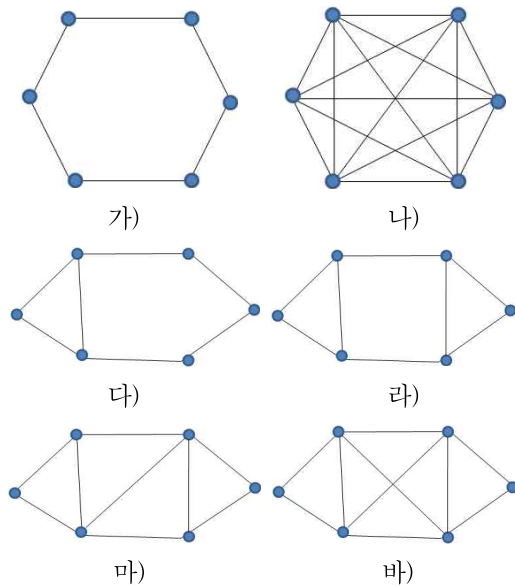


그림 7. 비용계산에 이용된 토폴로지 형태
Fig. 7. Topology type for cost calculation

표 1. (경로)비용결과
Table 1. (Routing)cost results

	가	나	다	라	마	바
비보호방식	1.4	1.0	1.325	1.25	1.2	1.15
1+1보호방식	6	3	4.8	4	3.7	3.3
이중홉방식	1.8	1	1.6	1.533	1.466	1.4

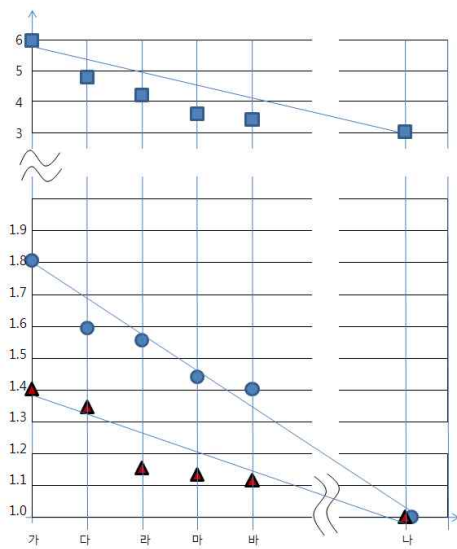


그림 8.(경로)비용결과
Fig. 8. (Routing)cost results

그런데 여기서의 비용은 경로비용을 의미한다. 즉 이미 존재하는 네트워크에서 효율적 경로를 찾는 방법과 유사하다고 할 수 있다. 서바이벌 특성을 적용하기 위해서는 모든 노드가 최소 2개의 링크와 연결되어 있어야 한

다. 물리적으로 네트워크를 구성할 때 고려되어야 하는 부분이다. 다음장에서 이를 위한 설계방안을 제안한다.

IV. 물리구조설계

링 형태는 이미 서바이벌 특성을 적용할 수 있는 토폴로지 구조 이므로 여기서는 메쉬 네트워크의 물리구조, 즉 토폴로지 설계방법을 휴리스틱한 방법으로 제안한다. 설계시 고려사항은 서바이벌특성 적용을 가능하도록 모든 노드가 2개 이상의 링크와 연결되어 있어야 한다는 점이다. 또한 설계 시 실제구축비용을 최소로 할 수 있는 방법을 찾는 것이다. 이때 예상되는 트래픽 량도 고려해야한다. 기존의 관련연구[10,11] 를 위한 것 등 다양하게 연구되어왔다. 본 논문에서 제안하고 사용한 설계방법은 휴리스틱한 방법인 [11]에 근거한다. 차이점은 이중경로를 보장하여 메쉬 네트워크의 서바이벌특성을 보장한 구조로 설계한다는 것과 추가링크설치는 고려하지 않는다는 것이다. 새로 제안한 설계방법에서는 메쉬 네트워크의 서바이벌특성의 핵심이 되는 이중경로가 모든 노드사이에 존재하도록 하는 것이다. 이것이 서바이벌특성을 적용가능하게 한다. 모두 다섯 단계로 되어 있으나 본 논문에서는 추가링크설치부분을 생략하고 단순하지만 서바이벌특성에 초점을 둘 수 있도록 4단계로 단순화하여 수정하였다. 다음은 각 단계별 과정을 나타내었다.

1. 설계알고리즘

제 1 단계 : 노드의 우선순위 선정

노드의 우선순위를 찾는 방법과 유사한 기존의 방법 중에는 첫 번째노드를 임의로 선택하는 방법 과 스타(Star)구조로 된 여러 트리(Tree)를 이용하여 총 경로의 길이를 줄이는 방법이 있다. 임의로 선택하는 방법은 여러 번 설계를 실시해야하는 단점과 최종설계의 총 설치비용을 줄인다는 장점을 갖는다. 총 경로의 길이를 줄이는 방법은 한 번의 비교적 간단한 설계로 적당한 총 설계비용을 유지한다. 그러나 본 논문에서는 노드의 우선순위는 각 노드들 간의 전체 트래픽량으로 결정한다.

제 2 단계 : 입력데이터 구성

N : 노드의 수.

$Traffic(T_{ij})$: $N \times N$ 서비스트래픽 매트릭스.

$Cost(C_{ij})$: $N \times N$ 링크설치비용 매트릭스.

그림10 에서 짙은 색의 A, B, X, Y의 4개 노드가 링크가 하나뿐인 노드로 직접링크설치의 대상이 된다. 노드 B를 우선고려하면 첫 번째 방법(방법 A)은 노드 B와 노드 X, A, Y사이의 직접링크설치여부 (그림10 에서 실선 화살표)이다. 즉 링크 B-X, B-A, B-Y의 설치비용이 최소인 링크를 설치한다. 두 번째 방법(방법 B)은 노드 B와 다른 전체노드와의 직접링크설치를 고려한다. (그림 10에서 점선 화살표를 포함한 모든 화살표) 이단계가 끝나면 모든 노드가 두개이상의 링크로 연결 되어 있게 된다. 따라서 서바이벌 특성을 적용할 수 있는 물리적 바탕을 만들게 된 것이다. 본문에서는 방법 A를 적용하였다.

2. 설계 결과

설계는 6개의 노드를 갖는 네트워크를 가정하였다. 앞에서 경로비용을 계산한 네트워크(그림7참조)들과 그 결과를 비교하였다. 6개의 노드는 그림 11과같이 위치한다고 가정하고 각 노드사이의 링크설치비용은 노드사이의 거리에 비례한다고 가정한다.

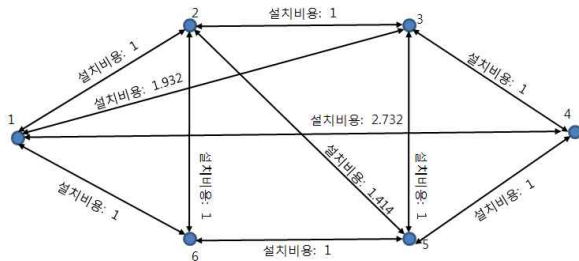
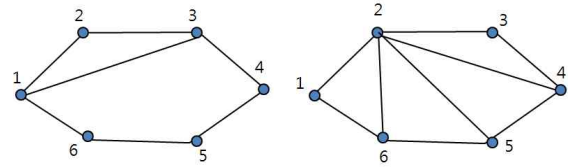


그림 11. 6개 노드의 위치와 노드사이의거리
Fig. 11. 6 node position and the distance of each nodes

첫 번째 단계의 중심노드 찾기는 각 노드사이의 트래픽 량에 따른다. 그림 11에 나타난 6개의 노드사이에서는 1번 4번 노드가 중심노드일 경우 네트워크의 토폴로지는 같은 형태를 나타내게 된다 마찬가지로 노드 2,3,5,6번이 중심노드일 경우 같은 토폴로지를 갖게 된다. 따라서 2가지의 경우에 설계결과는 그림 12와 같다. 물리적 총 링크설치 비용은 표2 와 같이 나타난다. 그림 7의 다 와 그림 12의 가 그리고 그림 7의 마 와 그림 12 나 를 살펴 보면 링크수가 같다. 이때 다른 토폴로지 형태이지만 이중 홉방식의 경로비용이 같다. 다만 총링크비용이 그림 12의 결과가 크게 나타나는데 이것은 트래픽량이 고려된

것이 원인이다. 즉 트래픽량이 많은 노드를 중심으로 링크설치가 되기 때문에 실제 네트워크 동작시 트래픽량에 따라 총 경로비용은 줄어들게된다.



가) 중심노드 1(또는4) 나) 중심노드 2(또는 3,5,6)

그림 12. 설계결과
Fig. 12. Design results

표 2. 링크설치비용
Table 2. Link costs

네트워크	7-가	7-나	7-다	7-라	7-마
총링크비용	6	21.828	7	8	9.414
네트워크	7-바		12-가		12-나
총링크비용	10.828		7.932		10.346

V. 결론

본 논문에서는 효율적비용의 서바이벌 네트워크 설계 방안을 제안하였다. 비용면에서 효율적인 이중홉방식의 적용을 위하여 구체적인 네트워크모델에 대해서 경로비용을 구하였다. 또한 실제 네트워크 구축시 트래픽량을 고려하고 링크설치비용을 최소화할 수 있는 네트워크 토폴로지를 찾는 단순하지만 실용성 있는 휴리스틱한 설계 방법을 제안하고 링크설치비용과 경로비용을 비교분석 하였다. 이중홉방식적용시 경로비용은 토폴로지가 같으면 동일하였고 총 링크설치비용은 차이가 있음을 알았다. 이는 트래픽량을 고려하였기 때문이다. 본 논문에서 제안된 설계방법이 이중홉방식의 장점은 그대로 살리면서 실제 트래픽량을 처리할때는 경로비용을 더 줄일 수 있는 가능성을 보였다, 다만 총링크설치비용이 어느정도 증가한다. 이는 본 논문에 적용된 네트워크모델 뿐만 아니라 일반적 모델에도 사용할 수 있다. 다만 다양한 네트워크 모델에 대한 설계시 다양한 트래픽량에 따라 줄어드는 경로 비용과 증가되는 총 링크설치비용의 상관관계는 실제 네트워크구축시 정확하게 계산되어야한다.

참 고 문 헌

- [1] Ball, R., The Fundamental of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design, 2nd Edition. Reston: AIAA Education Series, 2003.
- [2] Richards, M., Hasting, D., Rhodes, D., and Weigel, A., "Defining Survivability for Engineering Systems." Conference on Systems Engineering Research, Hoboken, NJ, March 2007.
- [3] Benjamin K. Chen and Fouad A. Tobagi "Network Topology Design to Optimize Link and Switching Costs" ICC 2007 proceedings
- [4] Dahai Xu Elliot Anshelevich, "On Survivable Access Network Design: Complexity and Algorithms" IEEE INFOCOM 2008 proceedings
- [5] Michele N. Lima., Helber W. da Silva, Aldri L. dos Santos, Guy Pujolle, "An Architecture for Survivable Mesh Networking", IEEE "GLOBECOM" 2008 proceedings.
- [6] Myeong-Kyu Song, "Physical Structure Design for Survivable Network ", *Journal of Shenyang Univ.* Vol.18 NO. 2 Feb. 2006
- [7] Matthew G. Richards and Adam M. Ross," DesignPrinciples for survivable system architecture", 2007 1st Annual IEEE system conference, Waikiki beach, honolulu, hawaii Apr. 9~12
- [8] H. Wang, G. Zhao and J. Wang, "Survivable Network System: An Immune Approach", 2008 International Conference on Internet Computing in Science and Engineering, pp329~331
- [9] AUN HAIDER AND RICHARD HARRIS, "Recovery techniques in next generation networks", *IEEE Communications Surveys*, 3RD QUARTER 2007, VOLUME 9, NO. 3
- [10] Aaron Kershenbaum, P. Kermani and G. A. Grover, "MENTOR: An Algorithm for Mesh Network Topological Optimization and Routing", *IEEE Trans. comm.*, vol. 39, no. 4, April 1991.
- [11] 송명규, "신속한 관리정보전송을 위한 관리망 물리구조", *한국인터넷정보학회논문지* 제3권 제2호 2002년4월
- [12] Galen Sasaki and Ciril Rozic, "Cost efficient Survivable IP over WDM with dual homing", OFC/NFOEC 2008 IEEE

※ 본 연구는 남서울대학교 "교내연구지원사업"으로 수행된 연구결과를 게재한 것임.

저자 소개

송 명 규(정회원)



- 1987년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 정

보통신공학과 교수

<주관심분야 : 차세대네트워크, 네트워크설계 및 관리>