

국방 전산망의 효율적인 설계를 위한 휴리스틱 알고리즘 개발

우훈식* · 윤동원**

목 차

1. 서론
 2. 국방 네트워크 토폴로지
 3. 네트워크 토폴로지 문제
 4. 시뮬레이티드 애닐링 알고리즘
 5. 모의실험
 6. 결론
- * 영문 초록

1. 서론

국방부에서는 2015년까지 미래 정보전 및 체계 통합전을 수행할 수 있는 정예 정보화 및 과학군을 육성하고 발전된 C4I 체계를 중

* 대전대학교 정보통신인터넷공학부 교수

** 대전대학교 정보통신인터넷공학부 교수

심으로 전력운용의 동시성과 통합성을 달성할 수 있도록 국방 정보화를 추진하고 있다[2]. 이러한 국방 정보화는 국방자원관리의 자동화 및 정보화 환경을 구축함으로써 전시 및 평시에 효율적이고 경제적인 군 운용이 가능하도록 하고 미래 정보전에 대비하여 국방 업무 전반에 걸친 정보화를 가속화하고자 하는 것이다.

정보기술 중심의 국방정보화는 정보통신기술을 이용하여 군에서 요구하는 국방 정보를 관계자간 교환 및 공유하여 적시에 유통시켜므로써 국방 정보를 미래 전력으로 승화시키는 제반 활동으로 정의할 수 있다. 최근 정보통신기술의 급격한 발전에 따라서 신속한 지휘 및 명령의 전달 체계 구축, 전장 상황의 실시간 모니터링, 국방 기간 업무 정보화 등이 국방 정보화의 대표적인 구현 형태로 추진되고 있으며 이에 따라 급격하게 증가하고 있는 데이터 전송량을 효율적으로 신속히 전달할 초고속 국방정보통신망의 구축이 요원하게 되었다[1].

그러나, 기존의 국방정보통신망 구조는 각 군별로 구분되어 부대별로 독립적으로 구축된 경우가 많은 상태로 신규로 네트워크를 구축하거나 확장할 때 추가적인 비용이 발생하는 문제점이 있었으며 특히 급변하는 정보 통신 환경에 시의 적절하게 대처하기가 매우 어려운 상황이었다. 또한, 기존의 국방정보통신망은 전용선을 기반으로 구축되어 있어서 선로 설비의 유지 보수에 막대한 비용이 지출되는 단점이 있어서 2015년을 목표로 구축중인 국방정보통신망은 기존의 전용 회선에 의한 일대일 통신을 개선하여 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 기반의 패킷 교환망에 의한 교환 통신을 통해 복수 통신이 가능하도록 구축 중이며 표준 통계 체계인 TCP/IP를 사용하므로써 이기종간 상호 통신 및 신속한 정보 교환 및 공유를 보장하고 있다.

ATM은 패킷 교환 방식의 주요 장점인 통계적 다중화를 제공하

면서 시간 지연의 수준을 실시간 서비스가 가능한 낮은 수준으로 유지하도록 설계한 것이다. 이러한 ATM에서는 패킷의 크기를 53 바이트로 통일하여 광통신이 제공하는 대용량 및 최소 에러율 제공 기능을 이용하고 있다.

이러한 ATM을 기반으로 네트워크를 설계할 때 각 링크의 용량을 어느 정도로 설정해야 하는지에 대한 문제가 발생한다. 즉, 일정 기준의 성능과 신뢰도 조건을 만족하면서 최소의 비용으로 통신망이 구성되도록 하는 네트워크 토폴로지를 결정하는 것이 매우 중요한 것이다.

하지만, 통신 네트워크 토폴로지 문제는 기본적으로 순열 최적화 문제로 NP Hard 문제이다[8,12]. 따라서, 네트워크 교환 노드의 수가 증가하는 경우에는 제한된 시간 안에 최적해를 산출하는 것이 불가능하며 결국 제한된 시간에 우수한 해를 제공하는 휴리스틱 알고리즘의 사용이 합리적이다.

본 연구에서는 2015년을 목표로 패킷 교환망으로 구축 중인 국방 정보통신망의 효율적인 네트워크 설계를 위하여 사용할 수 있는 시뮬레이티드 애닐링을 이용한 휴리스틱 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 최소의 비용으로 동일한 수준의 네트워크 성능 및 신뢰도를 유지하는 패킷 교환망 토폴로지를 제공하며 가상의 시뮬레이션 실험을 통하여 알고리즘의 응용 절차를 제시하고자 한다.

2. 국방 네트워크 토폴로지

저비용 고효율의 국방 정보화를 달성하기 위한 중장기 계획은 <표 1>과 같이 2015년까지 정보전 수행 능력을 갖춘 정예의 정보

화 군 육성을 목표로 하고 있다. 이러한 목표를 통하여 신속한 지휘 및 명령의 전달 체계 구축과 실시간 전장 상황 관리 등의 지휘 통제 분야와 군 자원을 효율적으로 관리하기 위한 자원 관리 분야 등을 통하여 강군을 운영하고자 하는 것이다.

< 표 1> 국방정보화 중장기 계획[5]

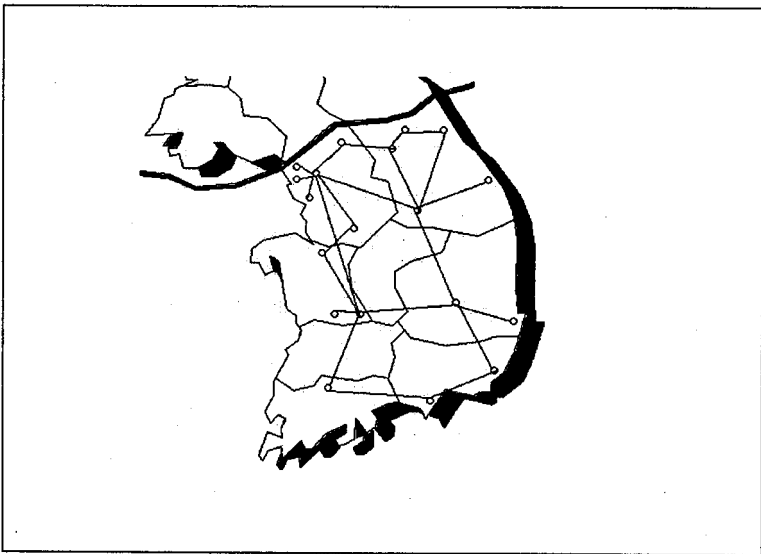
| 단계 | 추진목표 | 추진 중점 |
|--------------|---------------|---|
| 1단계('99~'05) | 기반 및 핵심 체계 구축 | - 정보화 환경여건 정비 - 정보통신기반 (LAN, WAN)구축 - 핵심체계(C4I, CALS) 구축 |
| 2단계('06~'10) | 기능확장 및 체계통합 | - 국방 초고속 정보통신망 구축 - 국방통합 C4I, CALS 체계 구축 |
| 3단계('11~'15) | 선진 정보 체계 완성 | - 국방 초고속 정보통신망 완성 - 국방통합 C4I, CALS 체계 완성 - 전자국방업무 수행체계 구축 |

현재 군에서는 국방정보통신망에서 다양한 형태의 정보화 업무 지원을 위하여 각 군별 각 부대별로 TCP/IP 기반의 인트라넷 웹 서비스, POP3 기반의 전자메일 시스템, 전자결재 서비스, 지휘소 자동화 체계, 화상회의 시스템, 야전제대 인사업무 시스템, 자체 상황관리 시스템 등을 사용하고 있다[4]. 이러한 정보통신 서비스의 증대에 따라 국방정보통신망 내의 데이터 전송량이 매우 급격하게 증가하고 있으며 증대된 데이터 전송량을 효율적으로 신속히 전달할 초고속 국방망의 구축이 필요하게 되었다.

국방 정보통신망은 <그림 1>과 같이 기간통신사업자망인 전송망 위에 ATM망으로 구축되며 주요 지역간은 T3급으로 전송로가 구성되어 있다. ATM 교환기는 1999년 4개소로 운영된 이래로 2001년 현재 16 개소에서 운영 중이다. 이러한 기간선 이외에 간선에

대한 고속화 계획도 추진 중으로 국방전산망 고속화 계획에 따라 1994년 T1급 2개 부대 및 9.6Kbps 88개 부대를 시작으로 2000년 9월 현재 T3급 3개 부대, T1급 30개, 64Kbps 165, 9.6Kbps 141 부대가 가입되어 있다.

또한 국방중기계획에 의하면 <표 2>와 같이 2006년까지 지속적으로 국방 전산망 확장을 위한 예산이 소요되어 국방 정보화를 위한 기반 투자에 활용될 예정이다[4]. <표 3>은 2002년 기준으로 각 군별 장거리 통신망 (WAN)의 설치 현황을 표현한 것이다[3].



<그림 1> 국방 정보통신망 구성도[5]

이러한 자료에 의하면 국방정보통신망은 국가 초고속 기간망을 활용할 수 있도록 국방 전산망과 전화망, 지휘소 자동화망의 회선 통합을 추진하였고, 편성 대대급 이상을 대상으로 광역통신망 (WAN)을 구축 완료하였으며, 근거리통신망(LAN)은 70% 정도 구

축하였다. 그러나 현재 편성 대대급을 대상으로 구축된 정보통신망은 국가 정보통신망 수준에 비교하면 열악한 수준으로 이에 대한 대책이 보완되어야 한다[1].

<표 2> '02 ~ '06년 국방 중기 계획 (국방 전산망 확장예산)

| '01년 (백만원) | 중기 계획 (백만원) | | | | | 합계 |
|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | |
| 9,887 | 13,973 | 15,785 | 17,384 | 19,518 | 21,776 | 88,435 |

<표 3> 장거리 통신망 설치 현황 (단위 회선)

| 구분 | 계 | 육군 | 해군 | 공군 | 국직 |
|--------|-----|-----|-----|----|----|
| 소계 | 853 | 566 | 101 | 94 | 92 |
| T3급 | 37 | 18 | 8 | 4 | 7 |
| E1급 | 24 | 15 | 3 | 0 | 6 |
| T1급 | 144 | 91 | 14 | 19 | 20 |
| 64Kbps | 648 | 442 | 76 | 71 | 59 |

3. 네트워크 토폴로지 문제

국방 정보통신망과 같은 패킷 기반의 네트워크는 그래프 $G=(N, L)$ 로 표현되며, N 은 노드의 집합을 나타내고 L 는 노드 쌍간의 링크를 나타낸다. 이때, 노드의 총수를 n , 링크의 수를 m 이라고 정의하면 주어진 노드의 위치 $(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, n$, 통신량 매트릭스 $R=r_{ij}, j=1, 2, \dots, n$, 최대 지연 시간 T_{max} , 네트워크 용량 기준 $C=C_b$ 그리고 네트워크 노드 연결도 u 하에서

네트워크 토폴로지 설계 문제는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{Min } TC &= \sum_{k=1}^m TC_k(c_k) \\ \text{s.t. } T &= \frac{1}{\gamma} \sum_{k=1}^m \frac{f_k}{c_k - f_k} \leq T_{\max} \end{aligned} \quad (1)$$

이때, 총비용 TC는 각 링크별 회선을 설치할 때 발생하는 네트워크 용량별 고정비용 S_k 과 링크의 길이에 따라 발생하는 가변 비용 V_k 으로 구성된다. 제약 조건은 패킷당 평균 지연 시간이 전체 네트워크에서 용인되는 최대 지연 시간 T_{\max} 보다 작아야 하는 것을 기술한 것으로 패킷당 평균 지연 시간 T 는 트래픽 매트릭스 $R=r_{ij}$ 에 의해 결정되는 트래픽 양 f_k 의 함수로 정의된다. 이때, γ 는 네트워크 내의 전체 트래픽 양 $\sum_{k=1}^m f_k$ 이며 트래픽 양 f_k 는 $f_k \leq c_k$ 제약을 만족해야 한다.

4. 시뮬레이티드 애닐링 알고리즘

시뮬레이티드 애닐링 알고리즘은 열탕에서의 유리 결정의 물리적 생성공정을 컴퓨터 상에서 모의 실험하는 Metropolis 등[11]의 알고리즘에서 유래한 휴리스틱 최적화 기법이다. 일반적인 조합 최적화 문제에 대한 시도는 Kirkpatrick 등[11]과 Cerny[6]에 의해 각각 독자적으로 연구되었다. 최근에는 네트워크 설계 문제 등에도 폭넓게 사용되었으며, 기존의 휴리스틱 기법과 비교하여 효과적이라고 발표되었다[7].

최적화 문제에 대한 시뮬레이티드 애닐링 알고리즘의 사용은 유리 결정을 생성하는 물리적 애닐링 공정과 유사하다. 물리학적 의미에서의 시스템 목적 함수는 잠재 에너지를 최소화하는 것으로, 고려된 시스템은 운동 파동의 특위성 때문에 글로벌 최소값에 도달하지 못하며 따라서 로컬 최소값에 머무는 것이다[8]. 이러한 상황을 극복하기 위하여, 시스템의 온도 즉 냉각 정도를 낮추면 낮출수록 궁극적으로 시스템의 에너지를 낮출 수 있는 것이다. 최적화 문제의 경우, 온도는 최적화 과정 중에 변화하는 조정 변수 S 로,

시스템의 에너지 수준은 목적함수값 $f(\cdot) = \sum_{i=1}^m TC_i(c_i)$ 로 나타낼

수 있다. 이러한 물리적 애닐링 공정의 냉각 스케줄 S 는 목적함수 값을 증진시키기 위해 한 상태에서 다른 상태로 변환하는 서치 과정과 유사하며 이러한 유사성이 시스템의 상태수가 제한적이지만 그 수가 기하급수적인 예를 들어 NP Hard의 특성을 갖는 TSP (Traveling Salesman Problem) 등에 유용하게 사용될 수 있다.

시뮬레이티드 애닐링 방법은 기본적으로 후보해를 바꾸어 가면서 목적함수를 증진시키는 방법이기 때문에 현재해의 주변해 중 후보해를 결정하는 방법이 대단히 중요하며 이러한 방법을 해 생성 메커니즘이라 한다. 해 생성 메커니즘의 종류에는 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 두 노드 간의 교환 방법을 사용한다.

또한, 시뮬레이티드 애닐링은 "uphill move"라는 개념을 도입하여 목적 함수를 증진시키지 못하는 해에 대하여도 교체확률 함수 가정에 받아들인다. 이러한 열등한 해에 대해 확률적으로 인정하는 시뮬레이티드 애닐링의 특징이 기존의 반복적 실험 방법과 구별되는 특징이며, 이러한 시도가 로컬 해로 부터 진행 방향을 바꾸는 수단을 제공함으로써 실제적인 문제에서의 근사 최적해를 추구하는 것이다. 따라서, 열등한 목적함수를 제공하는 후보해 Y 도 현재해

X 가 될 수 있도록 q 번째의 후보해 생성 반복수에서 다음과 같은 교체확률 분포가 적용된다.

$$\Pr\{\text{replace } X \text{ by } Y\} = \min\{1, \exp(-(f(x) - f(Y))/S_q)\} \quad (2)$$

위 관계식에서 $\exp(-(f(X) - f(Y))/S_q)$ 은 냉각 스케줄 S_q 의 온도가 높으면 낮은 온도의 경우에 비하여 상대적으로 해가 교체될 확률이 크다. 따라서, 실험 반복수가 증가할 때 냉각 스케줄 S_q 의 값이 감소되도록 하면, 열등한 해가 현재해가 될 확률이 점차로 감소하게 되어 최종적으로 근사 최적해를 추구하게 된다.

제안 알고리즘에서의 냉각 스케줄 S_q 는 다음과 같이 Lundy & Mees[10]의 관계식과 Connolly[8]의 관계식을 이용하였다.

$$S_{q+1} = S_q / (1 + \beta S_q) \quad (3)$$

$$\beta = (S_1 - S_N) / (S_1 S_N (N - 1)) \quad (4)$$

단, $q = 1, 2, \dots, N - 1$, N 은 실험 반복수

또한 초기 및 최종 냉각 스케줄을 다음과 같이 제안한다.

1. 초기 냉각 스케줄

초기값 S_1 의 결정 방법에는 여러가지가 존재하지만, Lundy & Mees[10]의 제안을 만족시키는 초기값을 결정하는 것이 바람직하다. 즉, 열등한 결과를 제공하는 최초해가 현재해로 채택될 수 있는 확률이 α , $0 < \alpha < 1$, $\alpha = (0.1, 0.2, 0.3, \dots, 1.0)$ 가 되도록 100번의 예비 실험에서 최대값 f_{\max} 과 최소값 f_{\min} 을 구하여 아래의 관계식을 만족하는 초기 냉각 스케줄 S_1 을 구하는 것이다.

$$\exp(-(f_{\max} - f_{\min})/S_1) = \alpha \quad (5)$$

2. 최종 냉각 스케줄

최종 냉각 스케줄 S_N 은 초기 냉각 스케줄의 비로써 다음과 같이 결정한다.

$$S_N = \theta S_1 \quad (6)$$

단, $0 < \theta < 1$, $\theta = (0.1, 0.2, 0.3, \dots, 1.0)$

5. 모의 실험

본 연구에서 개발한 시뮬레이트 애닐링 기반의 알고리즘의 유용성을 실험하기 위하여 노드 수 $n=10$ 과 연결도 $u=3$ 의 문제에 대하여 모의 실험하고 응용 방법을 정립하였다. 본 실험에서는 최대 지연 시간을 패킷당 $T_{\max} = 50$ ms로 설정하였고 각 노드간의 트래픽이 초당 10 패킷이라고 가정하였으며 또한 패킷당 1000 비트의 크기를 갖는다고 가정하였다.

<표 4> 네트워크 노드 위치

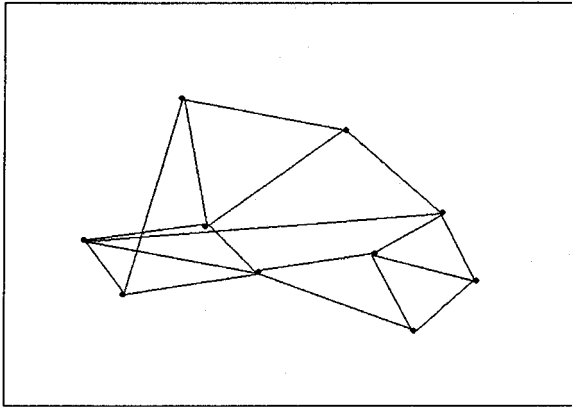
| 번호 | X | Y | 번호 | X | Y |
|----|-----|-----|----|-----|-----|
| 1 | 205 | 230 | 6 | 40 | 210 |
| 2 | 170 | 420 | 7 | 400 | 370 |
| 3 | 580 | 150 | 8 | 435 | 185 |
| 4 | 490 | 80 | 9 | 530 | 250 |
| 5 | 90 | 130 | 10 | 275 | 165 |

<표 4>는 네트워크 설계가 필요한 장소의 절대 위치를 나타낸 것이며, <표 5>는 네트워크 용량의 크기와 관련된 길이별 비용 및 고정 비용을 기록한 것이다.

<표 5> 네트워크 용량 및 비용 (단위: 만원)

| 용량(kbps) | 월별 킬로미터당 비용 | 월별 비용 |
|----------|-------------|-------|
| 9.6 | 10 | 3 |
| 19.2 | 12 | 5 |
| 56.0 | 15 | 10 |
| 100.0 | 20 | 15 |
| 200.0 | 25 | 25 |
| 560.0 | 60 | 90 |

<그림 2>는 절대 위치 (x_i, y_i) 로 구성된 초기 토폴로지를 나타낸다. 현재 전체 링크의 수는 18 이며 이러한 구성하에 전체 비용은 5억3천7백46만원으로 계산되었다. 이러한 초기 토폴로지에 대하여 개발된 시뮬레이티드 애닐링 기반의 휴리스틱 알고리즘이 적용되었으며 <그림 3>은 개발된 알고리즘이 적용되었을 때의 각각의 설계 구성도에 의한 전체 비용을 그래프로 나타낸 것이다. 이러한 그림에 의하면 알고리즘 실행이 증가하면 할 수록 전체 비용이 감소되는 설계 구성도를 얻을 수 있었으며 실험에서는 전체 비용이 4억7천8백74만원이 되는 토폴로지 <그림 4>를 얻을 수 있었다.



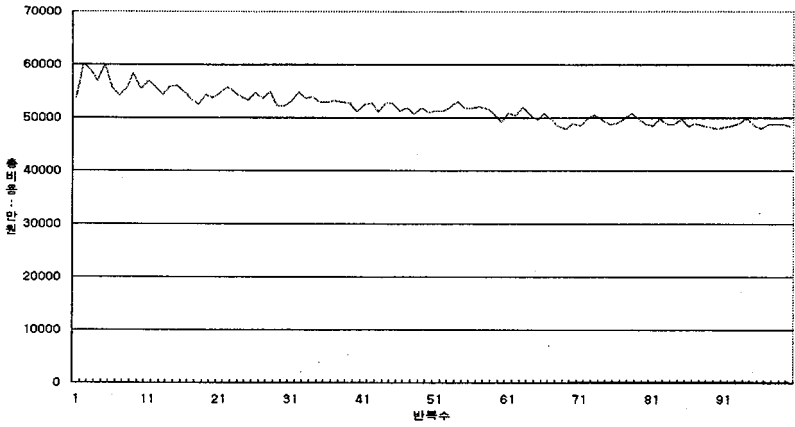
<그림 2> 초기해 토폴로지

6. 결론

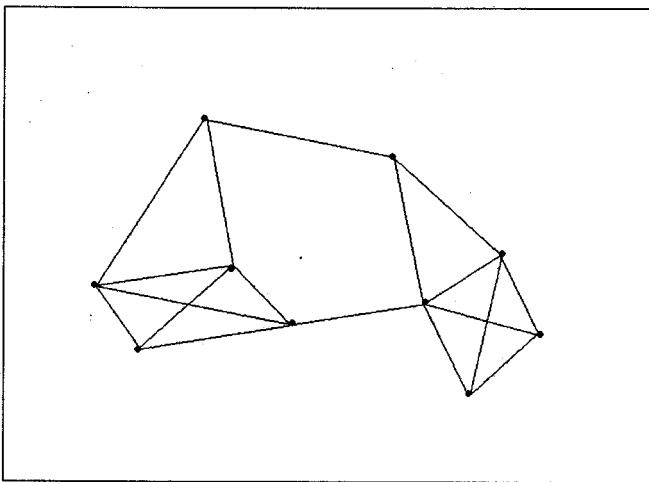
국방 정보화는 최근 급격히 발전한 정보통신기술을 이용하여 군에서 필요로 하는 국방 정보를 관계자간 교환 및 공유하여 정보를 미래 전력으로 승화시키는 제반 활동을 말하며, 급격하게 증가하고 있는 데이터 전송량을 신속하고 효율적으로 전달하기 위해서는 초고속 국방 정보통신망의 구축이 필요하다.

하지만, 이제까지의 국방 정보통신망은 전용선을 기반으로 구축되어 있어서 선로 설비의 유지 보수에 막대한 비용이 지출되는 단점이 있으며 이를 보완하기 위하여 ATM 기반의 패킷 교환망으로 2015년을 목표로 국방 정보통신망이 구축 중이다. 이러한 ATM을 기반으로 네트워크를 구축할 때 각 링크의 네트워크 용량을 설정하는 것이 매우 중요한 문제이며 특히 일정 기준의 성능과 신뢰도가

필수인 국방 정보통신망의 경우는 최대 지연 시간과 네트워크 연결성이 보다 보수적으로 고려되어야 한다.



<그림 3> 반복수에 따른 알고리즘 수렴도



<그림 4> 우수해 토폴로지

본 연구에서는 2015년을 목표로 패킷 교환망으로 구축 중인 국방 전산망의 효율적인 네트워크 설계를 위하여 시뮬레이티드 애닐링을 이용한 휴리스틱 알고리즘을 개발하였다. 국방 정보통신 네트워크의 설계는 기본적으로 순열 최적화 문제로 NP Hard 문제이기 때문에 네트워크 노드의 수가 증가하는 경우에는 제한된 시간 안에 최적해를 산출하는 것이 불가능하다, 따라서 제한된 시간에 우수한 해를 제공하는 휴리스틱 알고리즘의 사용이 합리적이며 본 연구에서는 이러한 휴리스틱으로 대표적인 시뮬레이티드 애닐링 알고리즘을 사용하였다. 이렇게 개발된 시뮬레이티드 애닐링 알고리즘은 최소의 비용으로 동일한 수준의 네트워크의 성능 및 신뢰도를 유지하는 패킷 교환용 네트워크 토폴로지를 제공하며 가상의 시뮬레이션 실험을 통하여 응용 절차 및 결과를 도출하였다.

< 참고문헌 >

- [1] 국방부. 1998. 「2002년 국방정책」, 국방부.
- [2] 국방부. 2000. 「2000년 국방백서」, 국방부.
- [3] 국방부. 2002. 「2002 정보통신장비보유현황」, 국방부 정보화기획관실.
- [4] 김광영, 이승중. 2002. "국방정보체계의 서비스 품질(QoS) 보장을 위한 정책기반(Policy-Based) 네트워킹 적용에 관한 연구." 「한국국방경영분석학회지」 29/1, 한국국방경영분석학회.
- [5] 신유찬, 남길현. 2002. "WEB 환경에서 국방정보통신망 정보보호체계 구축에 관한 연구." 「한국국방경영분석학회지」 28/1, 한국국방경영분석학회.
- [6] Cerny, V. 1985. "A thermodynamical approach to the travelling salesman problem: an efficient simulation algorithm." 「Journal of Optimization Theory and Application」 45.
- [7] Connolly, D. 1990. "An improved annealing scheme for the QAP." 「European Journal of Operational Research」 46.
- [8] Garey, M. R. Johnson, D. 1977. *Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness*. Freeman, New York.
- [9] Kirkpatrick, S., Gelatt Jr. C. D., Vecchi, M. P. 1980. "Optimization by simulated annealing." 「Science」 220.
- [10] Lundy M., Mees, A. 1986. "Convergence of an annealing algorithm." 「Mathematical Programming」 34.
- [11] Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H. 1953. "Equation of state calculation very fast computing machines." 「Journal of Chemical Physics」 21.
- [12] Pierre S., Legault, G. 1996. "An evolutionary approach for configuring economical packet switched computer networks." 「Artificial Intelligence in Engineering」 10.

Development of a heuristic algorithm for the effective design of military information networks

Woo, Hoon-Shik · Yoon, Dongweon

To build an information oriented armed forces, the Korean military telecommunication networks adopt TCP/IP standard communication infrastructures based on ATM packet switched networks. Utilizing this network infrastructure, the Korean armed forces also applies to the areas of battleship management for efficient operation command controls and resource management for efficient resource allocations. In this military communication networks, it is essential to determine the least cost network topology under equal performance and reliability constraints. Basically, this type of communication network design problem is known in the literature as an NP Hard problem. As the number of network node increases, it is very hard to obtain an optimal solution in polynomial time. Therefore, it is reasonable to use a heuristic algorithm which provides a good solution with minimal computational efforts. In this study, we developed a simulated annealing based heuristic algorithm which can be utilized for the design of military communication networks. The developed algorithm provides a good packet switched network topology which satisfies a given set of performance and reliability constraints with reasonable computation times.

Keywords : telecommunication network, TCP/IP, ATM packet, network infrastructure, heuristic algorithm