

Jamming 효과를 고려한 Netted 레이더의 정보 통합망 설계에 관한 연구

正會員 金 春 吉* 正會員 李 亨 宰**

A Study on the Netted Radar Information Network

Choon Gil Kim*, Hyung Jae Lee** *Regular Members*

要 約

Netted 레이더의 추적정보를 수집하기 위한 레이더 정보 통신망의 설계를 위하여 본 연구에서는 multi-static 레이더의 정보 전송용 근거리망을 공간적 계층구조로 분류하고 최하위 공간 계층인 group 계층의 통신 모델을 소프트웨어 모듈로 설계하여 이들 모듈간의 조합에 의한 기본적인 레이더 정보망 단위를 구성함으로써 여러가지 통신 link 형태에 대한 전송상태를 분석하였다. 각 통신 node에서의 데이터 전송에 관련된 프로세서들은 통계적모델에 의한 알고리즘을 사용하였으며, 데이터 link를 통하여 이러한 부분적인 하위층 통신모델들을 하나의 지역망으로 구성한 후 내부 node의 전송성능 변화를 분석하였고 이에 따라 망구성 전체에 대한 각 통신 link들의 전송특성 분석도 가능하였다.

ABSTRACT

For designig the radar integrated data network, we construct the network structure with a spatial hierarchy decomposition scheme. The RIDN can be decomposed into several subnet classes, those of which are composed of the several group classes of radar sites. In a group class, the communication nodes of a radar site are modeled by the software modules formulated with the statistical attributes of discrete events. And we get the analysis over the network through the seperately constructed infra group level models which were coded with the C language.

After constructing the local area network with these infra models through the proper data links, we got the analysis of the communication performance of inner models and the global network.

I. 서 론

최근 중동에서 발생한 걸프전에서와 같이 첨단 전

자 장비를 사용한 현대 전자전에서는 전투양상의 급격한 변화, 전투의 광역화, 정보의 다양화에 따라 피아 전투의 종합적이고 신속한 파악이 필요하게 되고 필요 정보를 신속히 추출 할 수 있어야 한다.

이러한 대량의 전투용 데이터 즉 문자나 화상자료를 전송처리하는 기술이 C3이며 이에 소요되는 시간

*韓國科學技術大學 電氣및 電子工學科

**韓國航空大學 航空電子工學科

論文番號 : 92-41(接受1992. 2. 25)

의 단축이 승패의 결정적 요인이 되고있다. 따라서 이와 같은 통합 정보체계에서는 우선 정보의 탐지 및 파악이 필요하고 수집된 정보는 한곳으로 집중 처리되어 내용에 따라 분류, 축적 혹은 결합되며 이렇게 정제된 정보는 전술 통신망을 통하여 필요한 지역으로 또다시 전송된다.

현대전에 나타나는 전투양상의 급격한 변화, 광역화 또는 정보의 다양화등에 대처하기 위해서는 전술 장비의 종류, 배치위치, 수량등을 적절히 결정하여 구성하는 기능이 필요하고, 또 다양한 구성방식이 필요하게 된다. 이러한 요구에 신속히 대응할 수 있게 하기 위해서는 통신전송망의 역할이 중요한 부분을 차지하게 되는데, 전술 통신망은 다수의 노드로서 결합 구성되며 각노드에 대한 전술장비와의 연결, 망구성상의 역할 및 데이터 전송기능등이 명확히 정의되어야 한다.

2차대전 이후 꾸준히 발달되어온 레이더 기술은 1970년대 이후 급속히 진전되어온 디지털 컴퓨터의 발전과 고도화된 MIC(Microwave Integrated Circuit)기술과 함께 그 성능이 원동히 진보하게 되었다. 그러나 독립된 Radar 보다는 다수의 서로 다른 레이더에 의해 수집된 종합적 정보가 보다 높은 신뢰도를 갖게됨에 따라 각 레이더끼리의 정보교환에 필수적인 네트워크 시스템의 도입이 절실하게 되었다.

이러한 통신 network 체제의 기반위에서 가능하게 된것이 최근 발표되고있는 C₃I나 C₄I이다. 이것은 곧 자 그대로 Communication, Control, Computer and Intelligence를 의미하는 것으로 군사 작전수행의 핵심인 지휘 통제체제를 효율화 하기위해 인공지능화된 컴퓨터를 이용하여 종합적 정보관리체제를 갖춘 통합 통신망 체계이다.^{1,2,3)}

현재 외국의 개발된 제품으로는 "웨스팅하우스 전자 시스템"사의 방공통제시설인 "AMS 서비스"가 있으며 그외에도 "패레이티온 휴지"사의 "통합 방공 통제 network", "SIMENS"사의 "HEROS", "BCP" 등의 여러가지가 있다. 그러나 국내 현황을 보면 대부분의 고성능 레이더는 외국으로부터 수입된 고가 장비로서 모두 외국 기술에 의존하는 실정이며, 이들 고성능 레이더의 유지보수 장비 또한 별도의 부대장비로서 고가에 수입되어야하는 실정이다.

고성능 단독 레이더가 갖는 문제점의 해결방안으로는 목표물 파악에 대한 정확성이 단일 레이더 시스템보다 높고 대전자전 무기에 강하며 유지보수 및 관

리가 용이한 다중 레이더 시스템(multistatic radar system)의 개발이 우선이라고 본다. 다중 레이더 시스템은 성능이 낮은 여러대의 레이더로써 고성능 레이더의 취약점들을 보완할 수 있기 때문에 여러모로 국내여건에 적합하기 때문이다. 따라서 이러한 다중 레이더 시스템에 필수적인 레이더 정보교환망으로서 근거리 통신망의 개발은 레이더 개발에 있어서 기본적인 요건이 된다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다중 레이더 시스템의 정보망을 모델로하여 추적정보의 전송을 위한 레이더 전송망을 설계하였으며 정보망 내부의 통신 node들은 소프트웨어적으로 모델링함으로써 내부의 전송흐름에 관한 자료를 검토할 수 있었다. 각 통신 node의 모델링 결과는 미국 MIT 대학과 MIL-III 사에서 공동 개발된 OPNET 2.3L 시뮬레이터를 통해 그 타당성을 검증 하였다.

II. Netted 레이더 시스템의 특성

레이더의 송수신 방식에는 단일 레이더 시스템인 신호를 발생하고 그 신호를 추적하여 target을 감지하는 monostatic 방식과 신호의 송수신 장치가 따로 이 격리되어 탐색을 수행하는 bistatic 방식이 있다. 특히 현대의 송신 레이더에 대해 다수의 수신 레이더를 가진 시스템을 multistatic 방식 또는 netted bistatic 방식이라 한다.⁴⁾

여기서 monostatic레이더는 일반적으로 알려진 레이더이며 bistatic은 좀 생소하지만 그러나 전혀 새로운 개념은 아니다. 왜냐하면 본래 레이더는 bistatic으로 출발했으나 duplexer의 발달이후 monostatic이 전반적인 추세가 되었기 때문이다.

그러나 최근 정확도나 실시간분석 등 레이더 성능의 고급화 요구에 부응하고 대전자 무기에 의한 전자파적 교란(jamming, ARM(anti-radiation missile) 등)을 극복하기 위하여 레이더의 설계형태가 점차 bistatic형태로 발전하는 추세에 있다. 그것은 bistatic 방식이 적의 ARM에 노출될 위험도 낮고 jamming에 의한 교란도 monostatic보다 적게 받기 때문이다.

다수의 레이더 기지는 단일 레이더 시스템 보다도 훨씬 광범위한 지역을 정찰 할 수 있으며 이것은 레이더 탐색면위의 중첩을 최소한으로 한 상태에서 더욱 그러하다. 따라서 탐색 지역에서의 sensor수를 최소화 시킬 수가 있다. 또 어느정도의 중첩을 허용하

는 상태로서의 netted radar는 또다른 효용성을 발견할 수 있다. 즉 특정 간격동안의 탐색기회가 증가하게 된다. 이것은 단독 레이다와 비교했을 경우에 평가되는 netted radar시스템의 성능으로 목표물의 추적실패할 확률이 감소하게 되는것이다. 결론적으로 어떤 목표물의 추적 실패율에 대해서 살펴볼 때 각 개개 레이다의 단독적인 목표추적율을 떨어지더라도 어느정도의 범위내에서는 단독 레이다의 성능을 능가할 수 있다. 예를 들어서 단일 레이다 추적 시스템에서 2회 연속탐색으로부터 목표물 놓칠 경우, 단일 1회 탐색확률(single scan detection prob.)을 P_{d1} 라 할때 각 탐색에서 목표추적이 실패할 확률 P_{F1} 는

$$P_{F1} = (1 - P_{d1}) \quad (2.1)$$

$P_{F1}(n)$: n회 추적에 대한 탐색 실패율

P_{d1} : 탐색 성공율

이고, 2회 연속 실패할 확률은

$$P_{F1}(2) = (1 - P_{d1})^2 \quad (2.2)$$

이 된다. 여기서 2회의 사건들은 서로 독립이라 본다. 즉 탐색 시간동안 두 탐색신호 변동(signal fluctuation) 사이에는 어떤 상관관계도 없음을 의미한다.

목표물에대한 다른 추적경로에 대해 제 2의 레이다를 추가하고 추적 시스템에는 어느쪽의 레이다 추적 결과도 표시가 되도록 한다. 이 가정 할 때 양쪽 레이다 모두가 추적에 실패할 확률은

$$P_{F1}(2) \cdot P_{F2}(2) = (1 - P_{d1})^2 \quad (2.3)$$

P_{F1} : 레이다 X의 P_{F1}

이 된다. 이상에서 2가지 확률을 서로 비교해 볼때 단독으로 격리된 레이다보다 netted radar system에서 요구되는 P_{d1} 는 동등한 시스템 추적 확률을 갖는 monostatic 레이다와 비교할 때 더 낮아도 되는 결과가 나온다. 다시말해서 고출력 고감도의 단독 레이다보다도 netting된 형태의 저출력 레이다 시스템이 효율면에서 더 우수함을 보여주고 있다. 또 레이다 기지와 목표물사이의 다른 여러 경로를 통해 목표물의 다양한 RCS(radar cross section)를 얻을 수 있는 잇점도 있다.

넓게 퍼진 여러 레이다 가지들이 어떤 미사일 형태

의 목표물을 추적 할 경우 RCS의 변화를 보면 정면부분과 측면부분의 RCS비가 20-30 dB의 차가 있는데 이것은 단일 레이다 기지에 의한 RCS보다 netted radar의 경우가 더 높은 신뢰도를 가짐을 의미한다. 또 다른 장점으로는 조기 추적착수(track initiation)와 가속 또는 직선경로에 대한 추적 정밀도의 개선을 들수 있는데 가속경로에 대한 목표추적에서는 filtering error가 plot상에서 시간의 제곱에 비례하여 증가하게된다. 그러나 netted radar 시스템에서는 수신 데이터율의 상승이 가능하므로 그만큼의 filtering error를 감소시킬 수가 있다.

직선경로부분에 대한 filtering error는 주로 측정치와 추적 필터의 잡음에 원인이 있다⁵⁾. 따라서 2대 이상의 데이터를 서로 조합하여 다중 추적을 수행하는 netted radar의 경우는 전체시스템의 정밀도를 개선하기가 훨씬 용이하게 된다. 즉 자료가 단순히 평균화에 의해서 서로 조합되면 정밀도는 참여레이다수의 제곱근에 비례하는 만큼 개선될 수 있다. 또 각 레이다별로 측정된 목표물의 자료에 정밀도만큼의 가중치를 가해줌으로써 더욱 개선된 자료의 조합도 가능하게 된다.

그림(2-1)에 한 레이다가 목표물의 위치를 거리와 방위각 측정에 의해서 확인한다. 그러나 각 측정상치들은 실용 신호와 신호처리 형태, 그리고 자료분석장치에 따라 각종 에러요인들에 의해서 쉽게 영향을 받게 된다. 이때 거리오차가 일정한 경우 방위각에 의한 오차를 고려하게 되는데 방위각 오차는 거리에 수직이며 거리가 멀수록 증가하게 된다. 이 방식은 2개 이상의 레이다조가 거리를 측정할 때 사용하는데 이것은 특히 레이다 빔이 서로 직각으로 교차 할 경우에 더욱 유용한 방법이다. 즉 오차 영역이 두 레이다의 공통 오차 영역으로 축소 되기 때문이다.

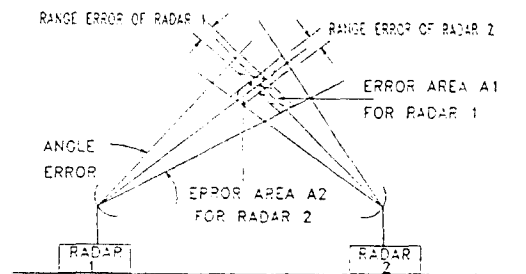


그림 2-1. netted 레이다의 개선된 위치추적 오차
Fig. 2-1. Improved accuracy of netted radar target finding

레이더 netting의 주된 목적은 각 레이더로부터 획득된 정보를 중앙으로 집중시켜서 적절히 조합함으로써 소위 다중 레이더 추적(multi-radar tracking)을 구현하기 위한 것이다.

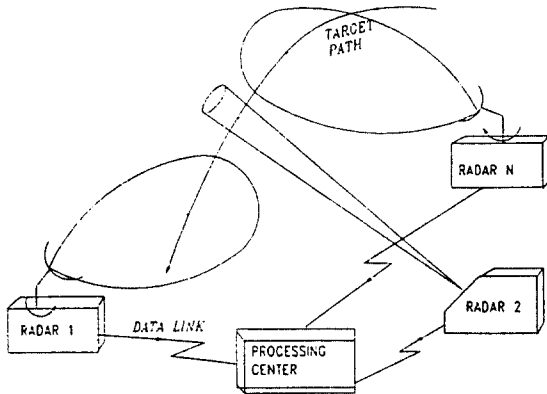


그림 2-2. netted 레이더의 목표 추적.
Fig.2-2. target track with netted radar system.

그림 2-2는 netted radar 시스템으로 추적하는 레이더를 도식화한 것인데 다수의 레이더들은 기계적 회전체에 의한 방식(radar1과 radarN)과 phased-array scan방식(radar2)으로서 각기 상이한 정보율(data rate)과 정확도(measurement accuracy)를 갖는 탐색을 하게 된다. 전송선로를 타고 보내진 데이터는 중앙 연산부로 보내져서 이미 저장된 추적 기능들(추적, 착수, 추적 예측, correlation, 추적평탄화)을 수행하게 되는데 이때 레이더 기지를 기준으로한 좌표계를 중앙처리부 기준좌표계로 변환하고, 측정된 거리와 방위각에 대해 영향을 주는 기준보정 오차의 보상도 함께 수행된다. 그리하여 상이한 레이더들로부터 측정된 데이터가 동일 타겟에 대해 공간좌표상으로 일치되는 결과를 갖도록 재정립 하게된다.

netted radar는 공간상으로 배치된 형태에 따라 분류할 때 크게 colocated class와 non-colocated class로 나눌 수 있다.

또 사용되는 집중처리과정의 정도에 따라 집중형과 분산형의 두 부류로 대별되기도 한다^[7].

분산형구조는 각 레이더 기지마다 단일 레이더의 측정치에 대해 추적기능을 수행하는 컴퓨터가 탑재되어 있으며 각 monoradar의 추적 자료들은 중앙 자료처리 연산부로 보내져서 하나로 조합 재배열 되며

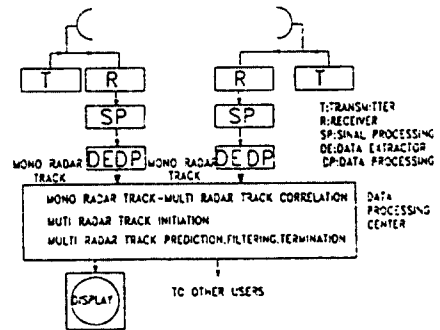


그림 2-3. 분산형 netted 레이더 자료처리 시스템.
Fig.2-3. scheme of netted radar data processing with distributed system.

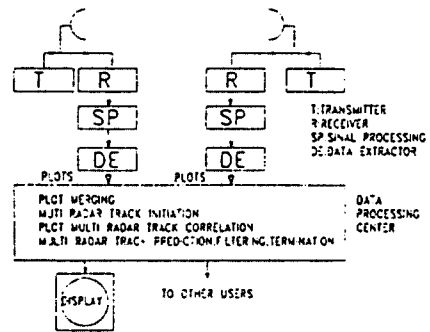


그림 2-4. 집중형 netted 레이더 자료처리 시스템.
Fig.2-4. scheme of netted radar data processing with centralized system.

로써 각 목표물에 대한 multiradar 추적을 수행하게 된다.

집중형구조는 모든 레이더의 plot이 하나의 데이터 처리 프로세서로 보내지며, 수집된 데이터는 또다시 자료처리과정을 거치면서 목표물에 대한 multiradar 추적을 수행하게 된다. 분산형이 집중형보다는 훨씬 시스템 설치가 용이하다는 것은 매우 당연한 일이다. 그 이유는 분산형 시스템의 설치는 각 레이더 시스템의 monoradar 프로세서를 연결함으로써 완성이 되지만 집중형 시스템의 경우는 전체 시스템을 다시 설계해야 하는 난점이 있다. 또 분산형에서는 true track만을 전송하는 반면 집중형에서는 true와 false 양 정보를 모두 전송하기 때문에 data link가 더 많이 소요된다. 그러나 정보량이 많으므로 정확도에 있어서는 좀더 양호한 결과를 얻을 수 있다.

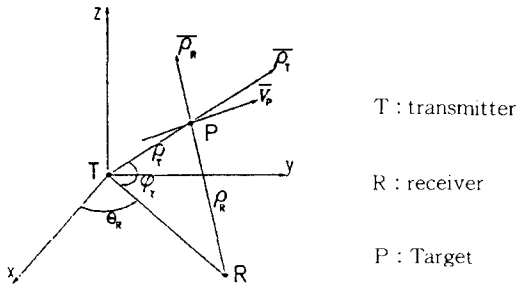


그림 2-5. bistatic 레이더의 추적.
Fig.2-5. bistatic radar measurement.

- $\rho_R + \rho_T$: total path length
- θ_R, ϕ_R : 레이더 신호의 수신 각도
- ϕ_T : 송신 빔 각도
- ρ_R, ρ_T : 목표물과 송수신기 사이 경로에 대한 방사방향 속도

그림 2-5는 bistatic radar의 동작원리이며, 송신부 T로부터 발신된 신호는 목표물 P에 의해서 산란된후

수신기 R에 도착된다. 정상적으로 레이더가 동작하려면 수신기 R이 송신된 주파수를 받아야하고 time 또는 phase의 reference가 있어야하며 synchronization link로부터 보내진 정보를 받아야한다. netted bistatic 구조에는 2개이상의 synchronization link가 요구된다. 그래서 이 link에는 관제공간의 동일 분해 영역(resolution cell)과 일정 시간에서 방사빔의 지향방향 조종이 송신과 수신 빔 상호간에 필요하다.

Ⅲ. 레이더 정보 통합 처리 시스템

레이더의 데이터망이 구축되므로써 기종이 다른 레이더와의 데이터도 서로 왕래가 가능하게 된다. 그러나 전송메시지의 형태와 자료의 종류가 상이하여 정보의 교환이 어려우므로 이들 메시지의 호환성을 살리기 위하여 다음과 같은 좌표변환 처리 시스템을 설치하므로써 레이더 정보의 통합을 기할 수 있다.

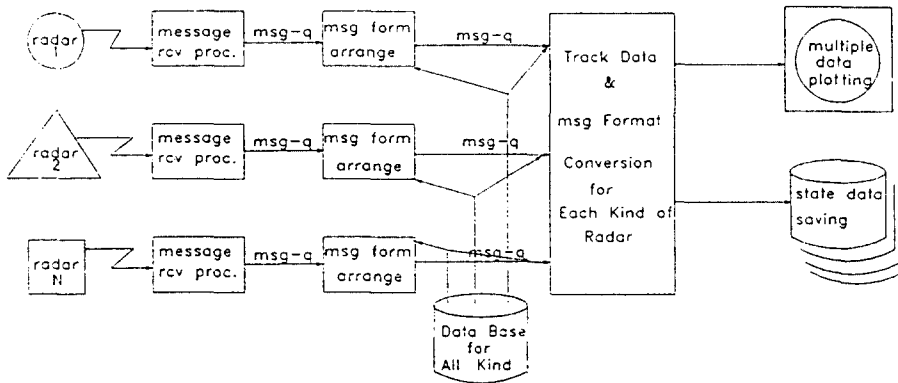


그림 3-1. 범용 레이더정보 통합처리 시스템.
Fig.3-1. integrated radar data processing system.

위의 좌표 변환 및 정보통합 시스템은

- 레이더의 기종에 제한되어 정보의 통합과 그에 따른 지휘통제가 어려운 레이더 정보체계를 기종에 무관하게 범용성을 지닌 레이더 정보체계로 구축할 수 있으며
- 메시지 변환에 의한 정보의 왕래가 자유롭고
- 추적데이터의 집중적 관리가 용이해지며
- multistatic 레이더 추적 시스템을 더욱 효율적으

로 활용할 수 있도록 한다.

-특수 상황에 대한 관련추적 데이터의 저장에 용이하므로, 축적된 데이터의 재사용과 분석에 의해 지휘 통제소에서는 더욱 효과적인 상황판단이 가능해진다.

이러한 시스템의 구성에 적합한 범용성 OS로서 널리 사용되고 있는 UNIX가 가장 효율적이며 시스템 내부 프로세서간의 통신에는 IPC(Inter Process

Communication) 기능들을 사용하여 시스템 처리 효율을 더욱 높일 수 있다. 또 처리된 레이더의 데이터를 출력하는 화면출력 장치로는 X-Window를 장착한 워크스테이션급의 그래픽 터미날을 사용하여 menu-driven방식의 대화식 시스템 운용을 채택함으로써 정보운용의 단순화와 효율화를 기할 수 있다.

다음은 이 기종간의 여러 데이터를 처리하여 하나의 공통된 레이더 좌표로 변환할 경우에 전송되는 패킷의 모형이다. 즉 표 2-1과 같이 기종에 따라 상이한 패킷을 표 2-2와 같은 정형화된 정보 패킷으로 통일함으로써 레이더 정보의 통합을 이룰 수가 있게 된다.

표 3-1. 일반적인 레이더 전송 패킷 모형.

Table.3-1. general radar data packet model.

0	TIME TAG(RANGE)
16	RADAR STATUS BITS
32	RANGE FROM TRANSMITTER
48	RANGE FROM RECEIVER
64	THETA(RECEIVER)
80	PHI(RECEIVER)
96	PHI(TRANSMITTER)
112	RADIAL VELOCITY(TRANSMITTER)
128	RADIAL VELOCITY(RECEIVER)
144	CRC ERROR CHECK CODE

16	RANGE
32	AZIMUTH
48	ELEVATION
64	RADAR STATUS
	CRC ERROR CHECK CODE

표 2-2는 목표물의 좌표를 전송하는 패킷의 한 예로서, 레이더 정보 통합처리 시스템에서는 각기 상이한 레이더에서 보내진 각종의 목표물 데이터 패킷을 별자리를 기준으로 한 기준좌표계 데이터로 변환하게 된다. 이때 변환된 데이터는 다음과 같이 레이더 통합처리용 데이터 패킷으로 생성되게 된다.

표 3-2. 정규화된 레이더 전송 패킷 모형.

Table.3-2. formatted radar data packet model.

0	TIME TAG, MISSION#
16	STANDARD X COORDINATE
32	STANDARD Y COORDINATE
48	STANDARD Z COORDINATE
64	CRC ERROR CHECK CODE

IV. OSI 계층과 군통신망

컴퓨터 및 전상망의 상호 호환성 문제는 매우 중요한 문제로 대두되어, 세계 각국들은 국가 또는 정부 주도하에 여러 기관에서 전상망에 관한 각종 규약을 작성하여 새로이 구축되는 전상망에는 가급적 필히 적용토록 권장하고 있다. 국제표준이 존재함에도 불구하고 국가표준을 제정하는 이유는 국제표준으로 제정된 모든 기능을 하나의 컴퓨터 시스템에 구현하는 것이 어렵고 국제표준으로 제정된 기능이 모두 요구되지 않기때문에, 각 나라에서는 필요한 기능만을 선택하여 국가표준으로 제정하고 있는 추세이다.

정부기관이나 민간기관과 마찬가지로 군에서도 정보의 신속한 수집, 교환, 그리고 올바른 상황판단으로 적에 대응하기 위해서는 신속하고 정확한 통신체계와 컴퓨터 시스템의 활용이 필수적으로 요건으로 작용하게 되었다. 따라서 군에서도 전산통신망이 필요하게 되었으며, 이미 많은 선진국에서는 군 전산통신망이 구축되어 사용되고 있다. 군에서의 전산통신망은 크게 두가지로 구분되는데 자원관리의 MIS (Management Information System)와 지휘통제 목적의 C³I(Command, Control, Communication and Information)가 있다. 다음은 지휘 통제용 군 전산망이 필요로 하는 사항을 OSI의 계층별 구조에 준하여 서술해 보았다.¹⁰⁾

1. 물리층

실제 data를 전송하는 계층으로, 가장 보편화되어 있는 Ethernet이 유망하며 추후기간망(backbone)은 FDDI로의 전환을 고려하여 구성한다. 타 site와의 접속은 전용선 개념을 채택하며, X.25에 근거한 packet망으로의 발전을 고려한다.

2. 데이터링크층

물리층에서 전송되는 data의 형태를 정의하고, 오류를 검출하며 종단 시스템간에 ACK를 상호교환하는 층으로서, 다수의 node가 매체를 공유하는 방법을 제공하는 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)와, DLC와 관련된 서비스 형태를 제공하고 다수의 논리적 회선을 하나의 network station으로 multiplex해주는 LLC(Logical Link Control)를 채택한다.

3. 네트워크층

Host와 network간의 상호작용을 정의하고, 목적지 주소(Dest Addr)와 라우팅 개념을 정의하여 오류를 알려주는 계층이다. 종단 시스템간에 데이터그램을 전송해주고, 라우팅을 수행하여, 호스트와 게이트웨이의 packet 처리방법, 오류메세지 발생 시점 및 방법, 오류 packet의 폐기환상을 정의해주는 IP Protocol을 선택한다. 또한 IP 주소를 Physical 주소(Ethernet 주소)로 바꾸어주기 위한 ARP Protocol과 역으로 Physical 주소를 IP 주소로 변환해주는 RARP(Reverse ARP)를 채택한다.

오류나 제어 메세지를 처리하고, 전송중인 데이터그램에 발생한 문제에 대해서 오류발생 데이터그램을 전송시킨 원시호스트(Source Host)에게 이를 알려주고, test를 위한 echo request나 reply를 전달해주는 ICMP(Internet Control Message Protocol)를 선택한다.

4. 전송층

종단시스템간에 메세지를 신뢰성(reliable) 있게 전송하는 서비스를 제공하기 위해 TCP(Transmission Control Protocol)와 connectionless 서비스를 제공하는 UDP(User Datagram Protocol)를 채택한다. 그러나 향후 OSI로의 전환을 고려하여 TP0, TP4 및 비접속지향형 전송 프로토콜을 고려한 시스템을 구성한다.

이상의 OSI 표준에 근거한 군 통신망의 지향은 현재 군의 통신추진정책의 일부내용이며 앞으로 발전되는 BISDN, MISDN의 표준과 더불어 계속 추가될 것이다. 본연구에서도 이러한 표준화에 기초를 두고 레이다 정보망을 설계하였으며 앞으로 추가 변경된 망시스템의 성능도 고려하였다.

따라서 본연구에서는 레이다 종합망의 전체적 구

조를 크게 group 계층, subnet 계층, RIDN(레이다 종합망)계층의 3가지 공간적인 계층으로 나누어 설계하였다. 즉 수 Km반경의 거리에 대한 통신망 노드들을 group 계층의 구성원으로 설정하고, 이들 group 들이 모여서 상위계층인 subnet 계층을 형성하게 된다. subnet 요소들은 다시 기간망으로 연결되므로써 레이다 종합망이 형성되도록 하였다. 본 연구는 이들 3계층중에서 subnet 계층까지의 설계에 중점을 두고 연구 하였다.

V. 레이다 정보망의 구성과 설계

1. 종합망의 계층구성

레이다 정보망의 구조를 보면 먼저 반경 수백미터에서 2Km 이내에 있는 레이다 기지들은 radar group을 형성하여 group level에 포함되고, 이 radar group들은 다시 반경 수십Km 내외의 radar subnet으로 포함된다. 이런 여러개의 subnet 단위는 군 정보기간망이나 민간종합 정보망을 통해 레이다 종합정보망(Radar Integrated Data Network)으로 접속되게 된다.

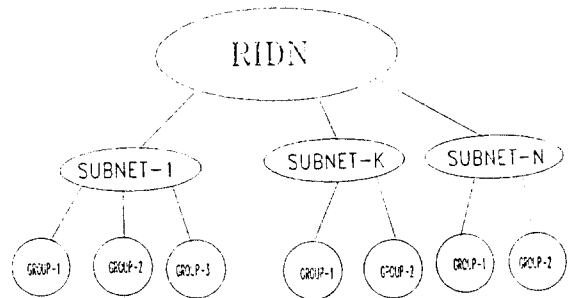


그림 5-1. RIDN의 공간적 계층 구성도.

Fig.5-1. spatial hierarchy of RIDN.

각 group은 지형적이나 지역적 혹은 전술적 환경요건과 radar의 종류를 고려한 각종 지역망으로써 적합한 망구조를 형성하게되며 통신선비와 구성체계는 근거리 통신망의 구성을 기준으로 하고, 차후에 접속부가되는 무선망의 설치도 고려하여 설계한다.

그러나 기밀이나 보안성을 요하는 전로는 광선로와 같은 보안성이 높고 전송품질이 고압인 유선망의 설치도 고려하였다.

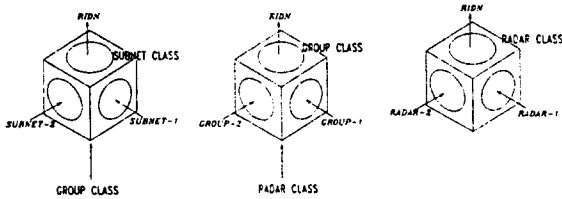


그림 5-2. RIDN의 계층별 관계 구성도.
Fig.5-2. relational diagram of RIDN hierarchy.

근거리 망으로 구성된 group들은 다시 지형적 전략적 요인에 따라 subnet을 구성하게 되는데 subnet 간의 고속통신선로는 민간 기간망이나 군 전용 회선 혹은 위성통신 선로가 된다. 본 연구의 실험에 사용되는 각 레이다의 BIT(built in test)정보는 20Kbps로 시뮬레이션이 되며 각 종류의 link에 대해 적용되어 분석이 수행되었다.

최종 종합망단계는 전지역을 하나의 종합망으로 잇는 레이다 종합망을 구성하며 종합망의 구조는 현재 추진되는 BISDN, MISDN이나 각종 무선망 위성 채널을 이용한다. 또한 구간별 기능별로 구분되어 유선과 무선 link가 조합되게 된다.

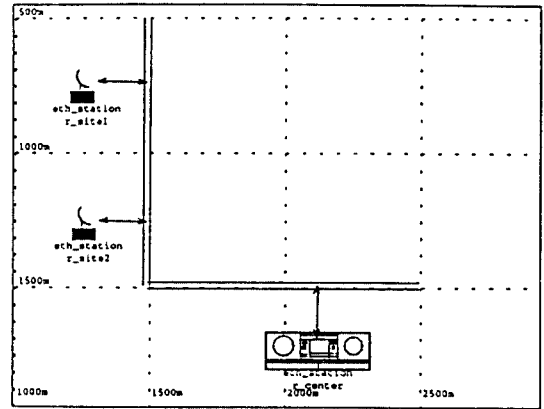
근거리이상 10-20 Km내외의 radar subnet들간에는 상호 무선 통신기 및 기간 유선 통신망을 구간으로 지상 통신망을 구성하게 되며 주요 통신내용 및 비상용 혹은 보조용 채널로서는 위성 통신선로가 설치된다.

2. 종합망의 각 계층별 구조

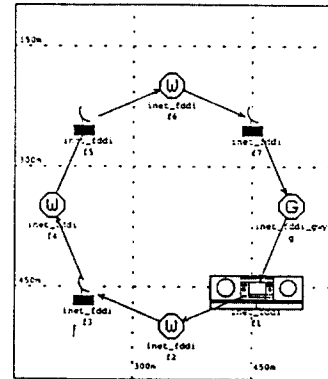
가. radar group

근거리 지역망을 이용한 multi-static 레이다의 추적정보 전송과 레이다 유지보수 자료의 교환 및 수집을 위하여 아래와 같은 근거리 레이다망들을 기본 단위망으로 설계하였다. 이들은 각종 통신 link를 사용한 group level의 radar 정보망 구성도로서 group level의 최종 설계단계를 나타내고 있다.

그림 5-3a에서는 레이다 기지간의 통신선로를 ethernet 방식을 사용한 데이터 버스모형을 사용하여 구성하였고 각 레이다 기지는 ethernet 프로토콜을 가진 통신단말로서 표현하였다. 그림 5-3b의 광선로 모델은 레이다 기지와 워크스테이션 그리고 gateway를 수백m 내의 근거리에서 위치시킨 집합형 레이다 시스템이다.



(a)



(b)

그림 5-3. group의 기본 단위망
(a)ethernet (b)fiber net.

Fig.5-3. basic network of group class
(a)ethernet (b)fiber net.

RIDN의 체계중에서 group은 수백 m에서 2km 이내의 반경내에 존재하는 레이다 기지간의 통신망 구성을 의미하는 것으로 기존 근거리 통신망의 방식을 그대로 채택하고 있으며 주로 유선을 사용하고 UHF 대역(300 MHz-3 GHz, 10 Mbps)의 무선통신을 보조 통신채널로 사용하였다. 보조통신선로나 비상통신선로로서는 무선방식을 채택하고 있다. 각 node에서는 ethernet mac과 fddi mac을 데이터 전송모델로 채택하였다.

1). group 계층의 모델링을 위하여 다음과 같은 여러 부분적인 node 모듈들을 설계하였다.

가). ethernet station 설계

각 레이더 기지의 전송단말을 ethernet포트로 설정할 경우 호출되는 통신모델의 기능은 다음과 같이 구성되어 있다.

블럭노드	변 수	지 정 값
bus_rx	data rate	10 Mbps
bus_tx		
ip	sevice rate	1000 pkts /s
tcp	receive buf size	8192 bytes

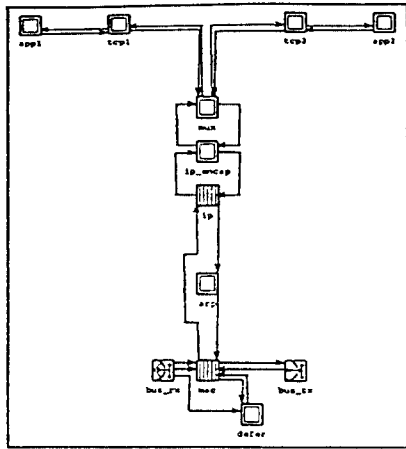


그림 5-4. 각 레이더 기지의 데이터 전송단말 기능 블록도.
Fig.5-4. data terminal block diagram of a radar site.

나). ethernet gateway station

group과 group 간의 통신을 위한 통신관문으로서 ip프로토콜을 사용하였다.

블럭노드	변 수	지 정 값
bus_rx	data rate	10 Mbps
bus_tx		
ip	sevice rate	1000 pkts /s
rrx, rtx	data rate	19200 bps
	bandwidth	80 KHz
	frequency	240 MHz
rtx	power	100 W
antenna	pattern	isotropic

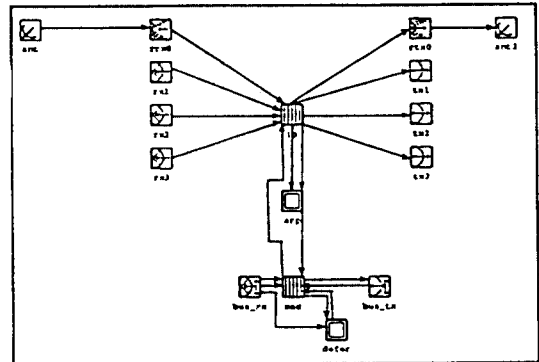


그림 5-5. 레이더 group의 gateway 기능 블록도.
Fig.5-5. gateway block diagram of a radar group.

무선 채널의 전송속도와 주파수의 설정은 다음의 Hartley Shannon식¹¹⁾에 준하여 설계하였다.

$$C = BW \times \log_2(1 + SNR)$$

C : information capacity

BW : band width

SNR : signal to noise ratio

또 비트의 전송에 소모되는 에너지¹²⁾는

$$E_b : ST_b = S / R$$

E_b : ennergy per bit

S : sinal power

T_b : propagation time per bit

R : data rate

다). fddi station

fddi 프로토콜을 각 레이더기지의 통신모델로 사용할 경우 호출되는 소프트웨어의 함수를 다음과 같은 기능블럭으로 도시하였다.

블럭노드	변 수	지 정 값
mac	sync bandwd	0.001%
	t_req	4.0 sec
ip	sevice rate	1000 pkts /s
tcp	receive buf size	8192 bytes
phy_tx	date rate	1024 bps
phy_rx		

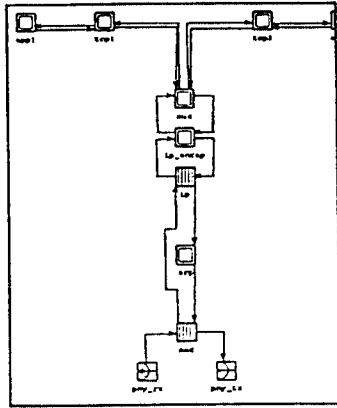


그림 5-6. 광전송 단말의 기능 블럭도.
Fig.5-6. fiber netted terminal blockdiagram.

라). fddi gateway station group과 group간의 통신관문으로서 fddi모델을 사용할 경우에 호출되는 통신모델이다.

블럭모드	변 수	지 정 값
rx, tx	data rate	256000 bps
mac	sync bandwd	0.001%
	t_req	4.0 sec
ip	sevice rate	1000 pkts /s
tcp	receive buf size	8192 bytes
rrx, rtx	data rate	19200 bps
	bandwidth	80 KHz
	frequency	240 MHz
rtx	power	100 W
antenna	pattern	isotropic
phy_tx	date rate	1024 bps
phy_rx		

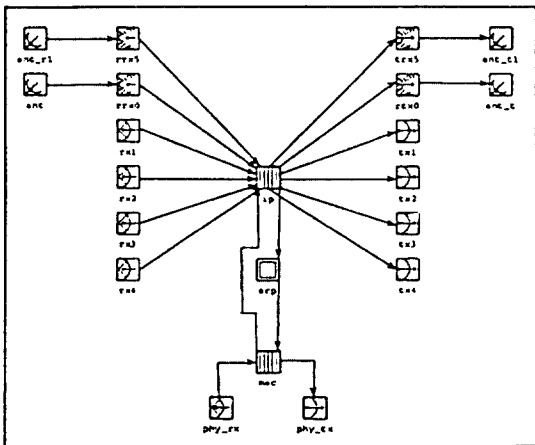


그림 5-7. 광전송망 레이더 group의 gateway기능 블럭도.

Fig.5-7. gateway block diagram in fiber netted group.

2). 다음은 부분적으로 설계된 각 모듈들을 만들기 위한 소프트웨어 알고리즘을 FSM(Finite State Machine)을 이용한 상태전이도를 써서 나타내면 다음과 같다.

가). ip 블럭 알고리즘

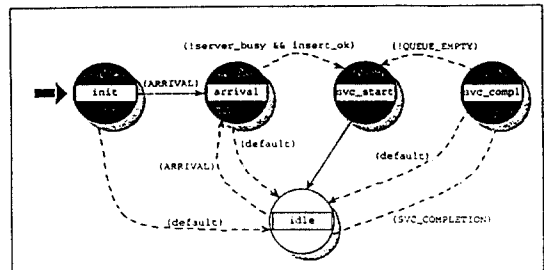


그림 5-8. ip 블럭의 상태 전이도.
Fig.5-8. state diagram of ip node.

나). arp 블럭 알고리즘

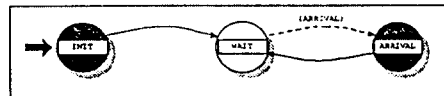


그림 5-9. arp 블럭의 상태 전이도.
Fig.5-9. state diagram of arp node.

다). tcp 블럭 알고리즘

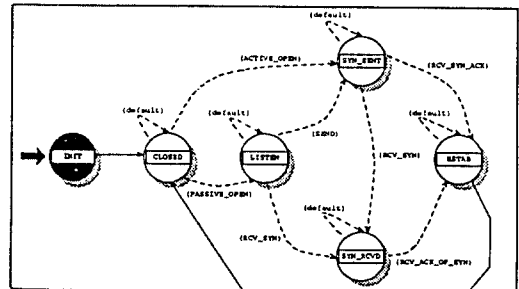


그림 5-10. tcp 블럭의 상태 전이도.
Fig.5-10. state diagram of tcp node.

라). appl 블록 알고리즘

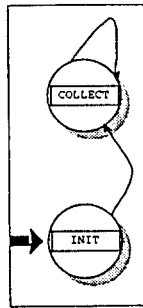


그림 5-11. tcp 블록의 상태 전이도.
Fig.5-11. state diagram of appl node.

나. radar subnet

그림 5-3은 radar의 subnet 설계를 나타낸 network graph이다. subnet은 수개의 subnet 요소들이 radar group으로 구성되며 이들 subnet 간의 통신은 기간통신망과 무선 통신망 그리고 위성 통신 채널로 구성되어 있다.

1). subnet의 network graph

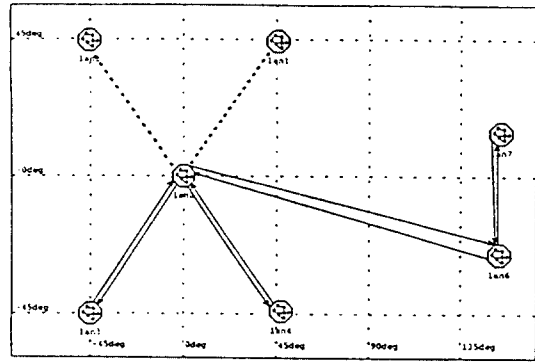


그림 5-12. subnet class 구성도.
Fig.5-12. subnet class structure.

2). LAN0 부터 LAN7 까지의 IP destination address와 LAN 특성은 다음표와 같다.

LAN0	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
dest.net	3	0	4	0	2	1	0
dest.nede	1	7	1	7	1	1	4
dest.num	0	0	0	0	0	0	0
dest.num	1	2	3	4	5	6	7
int-ar.tim	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
paragrph	10	10	10	10	10	10	10

LAN2	F1	F2
dest.net	0	2
dest.nede	6	2
dest.num	1	1
dest.num	1	2
int-ar.tim	0.1	0.1
paragrph	10	10

LAN2	E1	E2
dest.net	0	1
dest.nede	5	2
dest.num	2	2
dest.num	1	2
int-ar.tim	0.1	0.1
paragrph	10	10

LAN3	E1	E2
dest.net	0	4
dest.nede	1	2
dest.num	3	3
dest.num	1	2
int-ar.tim	0.1	0.1
paragrph	10	10

LAN4	E1	E2
dest.net	0	3
dest.nede	3	2
dest.num	4	4
dest.num	1	2
int-ar.tim	0.1	0.1
paragrph	10	10

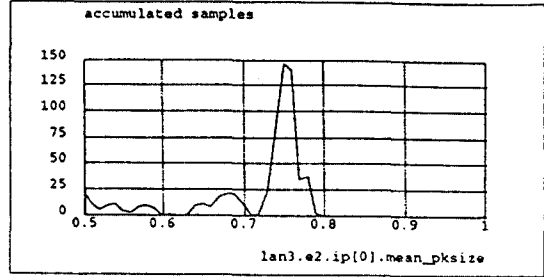
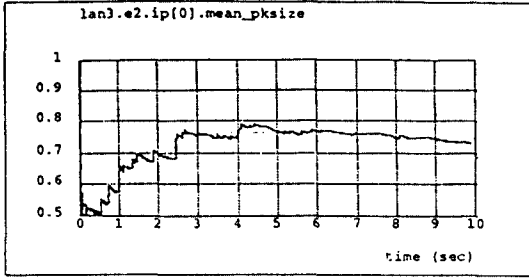


그림 5-13. lan 3 group ip기능의 패킷크기와 히스토그램
Fig. 5-13. lan3 group ip's mean packet size & histogram

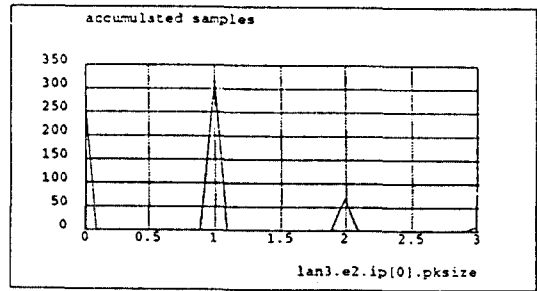
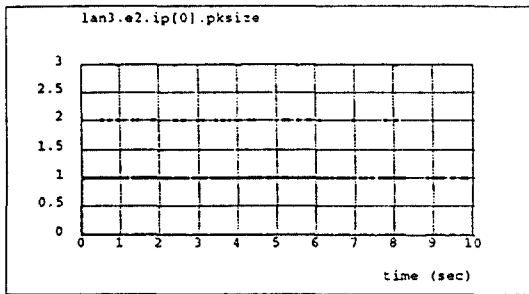


그림 5-14. lan 3 group ip기능의 패킷크기와 히스토그램
Fig. 5-14. lan3 group ip's mean packet size & histogram

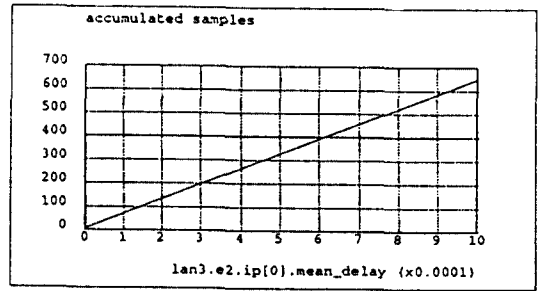
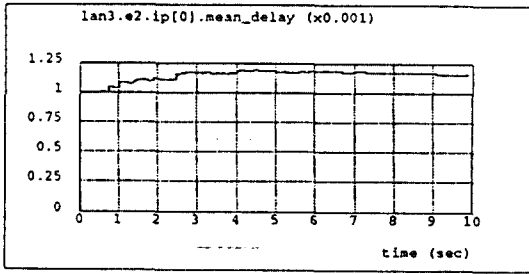


그림 5-15. lan 3 group ip기능의 평균 지연시간과 히스토그램
Fig. 5-15. lan3 group ip's mean delay & histogram

표 5-1. subnet 시뮬레이션 수치

Table. 5-1. subnet simulation specification

LAN6	E1	E2	LAN7	E1	E2
dest.net	7	7	dest.net	6	6
dest.nede	1	2	dest.nede	1	2
dest.num	6	6	dest.num	7	7
dest.num	1	2	dest.num	1	2
int-ar.tim	0.1	0.1	int-ar.tim	0.1	0.1
paragrph	10	10	paragrph	10	10

VI. 시뮬레이션 및 고찰

RIDN의 group 계층과 subnet 계층의 데이터들은 여러가지 network방식과 신호방식 그리고 여러기종의 레이더로부터 보내지는 다양한 메시지 패킷형태들을 가진 종합적 자료처리망이다. 따라서 각종 자료 발생원을 통계적모델로 설정하고 전송시스템의 파라메타를 설정하여 여러가지 전송성능을 다음과 같이 분석해 보았다. 이들 분석은 미국 MIT 대학에서 개

발되어 MIL-III사가 보급중인 OPNET 2.3L을 통하여 타당성을 검증 하였다.

OPNET을 통하여 본 연구에서 수행한 시뮬레이션의 절차를 살펴보면 다음과 같다.

- 1)네트워의 이론적 설계
- 2)통신 프로토콜에 의거한 FSM 작성및 코딩, 컴파일
- 3)생성된 프로세서를 조합한 통신모델 구성
- 4)작성된 통신모델을 이용한 네트워크 구성(group 계층).
- 5)group과 group간의 통신선로 설정
- 6)통신 프로세서에 필요한 변수 입력
- 7)시뮬레이션 프로세서 가동
- 8)생성된 시뮬레이션 결과자료를 이용한 그래프생성

1. subnet bus link

ip의 패킷 데이터는 다음과 같으며 이때 bus link로 연결된 group 계층의 LAN3과 LAN4는 동일한 구조이고, 그중 LAN3의 분석결과를 다음과 같다.

표 5-2. 시뮬레이션 패킷 모형

Table 5-2. simulated packet model

Field Name	Type	Size(bits)
preamble	information	64
dst - addr	integer	48
src - addr	integer	48
type	integer	16
data	packet	160
fcs	integer	32

Field Name	Type	Size(bits)
preamble	information	64
dst - addr	integer	48
src - addr	integer	48
type	integer	16
data	packet	160
fcs	integer	32

2. subnet radio link

LAN1과 LAN2는 무선통신선로로 모델링 하였으며 무선채널의 세부사항은 다음과 같고 데이터 전송 분석 결과는 그림 5-16, 17과 같다.

표 5-3. 무선전송선로의 사양.

Table.5-3. radio link specification.

RX CHANNEL		TX CHANNEL	
data rate	22 Kbps	data rate	22 Kbps
bandwidth	110 KHz	bandwidth	110 KHz
carrier freq.	330 MHz	carrier freq.	330 MHz
noise figure	1.0 dB	power	100 W
modulation	bpsk	modulation	bpsk

전송 전력의 손실의 모델링은 다음식에 의하여 설계되었다.

$$L = 10 \log(\lambda / 4\pi d)^2$$

L : loss

λ : wave length

d : distance

π modulation rate $D =$

$$D = R / 1 - R / \log_2 L$$

R : data rate

1 : number of bits per signal element

L : number of differential signal element

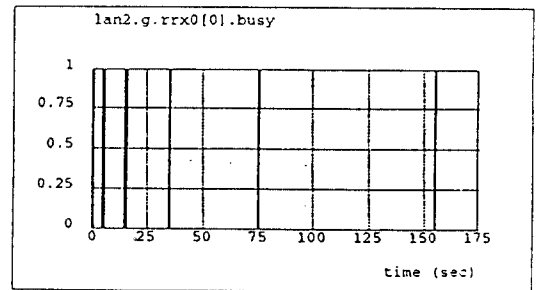


그림 5-16. lan2 무선수신기의 busy 상태.

Fig.5-16. lan2 radio rcv's busy state.

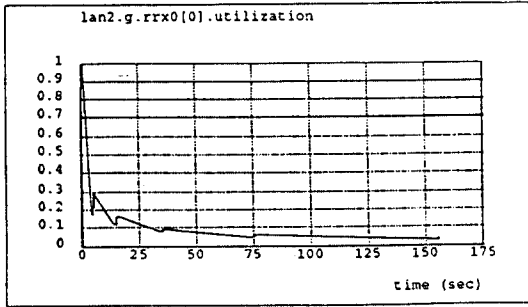


그림 5-17. lan2 무선수신기의 utilization.
Fig.5-17. lan2 radio rcv's utilization.

3. jamming model

LAN1과 LAN2 그리고 LAN0간의 무선 선로에 대한 jamming 효과를 분석하기 위하여 다음과 같은 이동형 jammer를 모델링 하였다. jammer와 수신기의 이동 궤적은 표 5-3과 같다.

표 5-4. jammer의 이동 궤적.

Table.5-4. trajectory of jammer.

jammer	시간 간격 10초, 시속 70 Km		
X좌표	400.0	400.0	300.0
Y좌표	20.0	220.0	393.0
Z좌표	150.0	120.0	120.0

표 5-5. 수신기의 이동 궤적.

Table.5-5. trajectory of receiver.

receiver	시간 간격 60초, 시속 5.7 Km									
X좌표	100.0	200.0	200.0	300.0	300.0	250.0	200.0	100.0	100.0	100.0
Y좌표	100.0	100.0	150.0	200.0	300.0	350.0	300.0	300.0	250.0	200.0
Z좌표	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

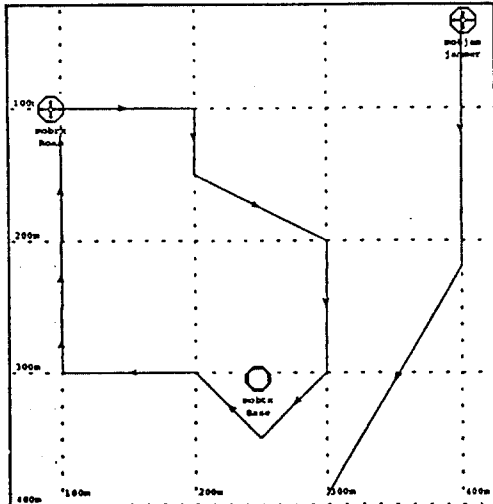


그림 5-18. 수신기와 jammer의 궤적도.
Fig.5-18. trajectory of receiver & jammer.

있으며, 그림 5-20 부터 5-30은 jammer의 power에 따른 전송특성을 분석한 결과이다.

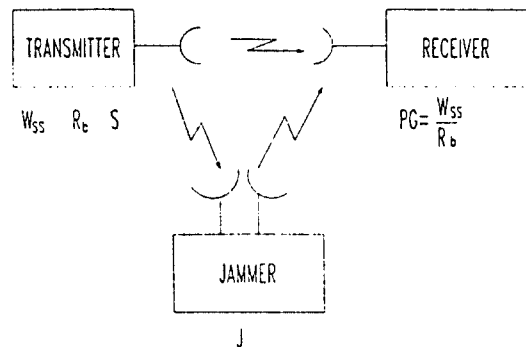


그림 5-19. jamming 효과 블록도.

Fig.5-19. jamming effect block diagram.

W_{ss} =신호의 총 사용 가능 대역폭
 J/S =jammer to signal power ratio
 R_b =data rate J =jammer 전력
 S =신호전력 $E_b/N_0=PG/(J/S)$

그림 5-19는 일반적인 jamming 모델을 보여주고

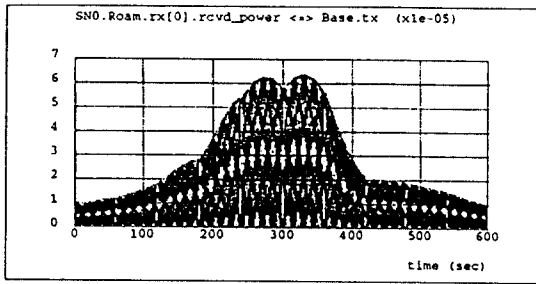


그림 5-20. jamming 부재시의 수신전력.
Fig.5-20. rcved power without jam.

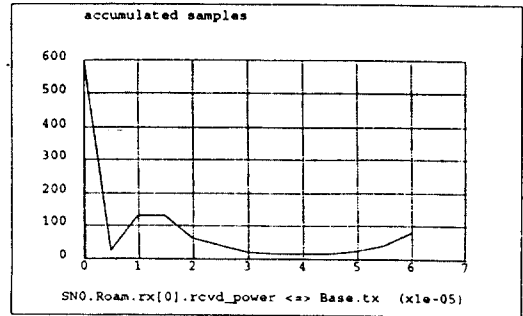


그림 5-24. 신호전력의 히스토그램.
Fig.5-24. histogram of rcved signal.

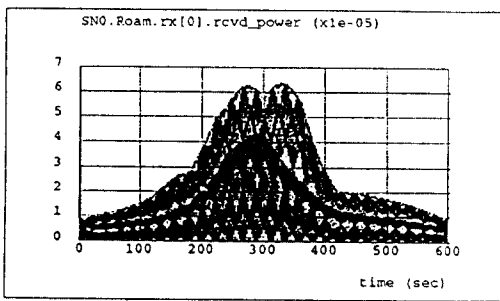


그림 5-21. 120W jamming시의 수신전력.
Fig.5-21. rcved power on 120W jammer.

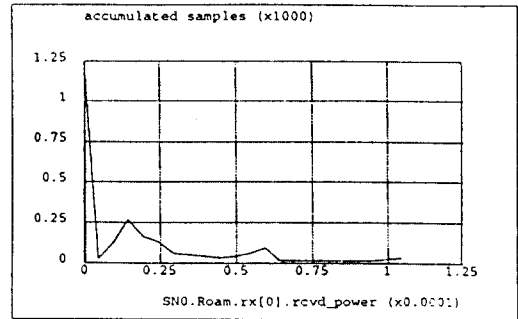


그림 5-25. 300W jamming시의 수신전력 히스토그램.
Fig.5-25. histogram of rcved power on 300W jammer.

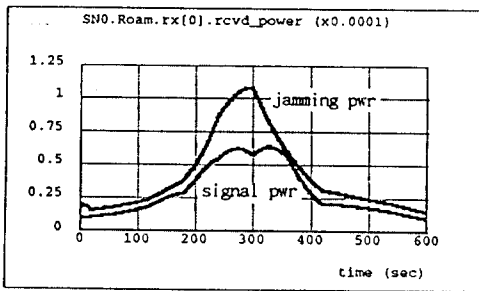


그림 5-22. 300W jamming시의 수신전력.
Fig.5-22. rcved power on 300W jammer.

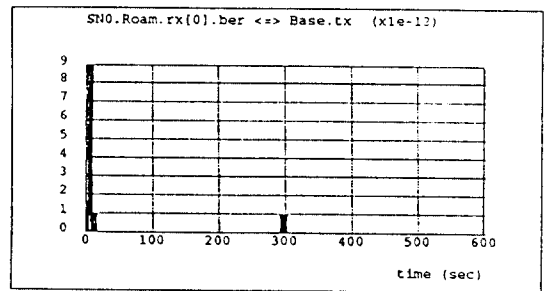


그림 5-26. jamming 부재시의 BER.
Fig.5-26. BER with no jamming.

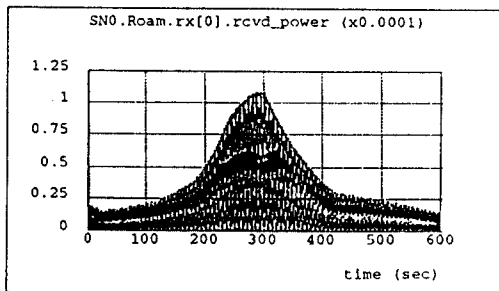


그림 5-23. 300W jamming시의 수신전력.
Fig.5-23. rcved power on 300W jammer.

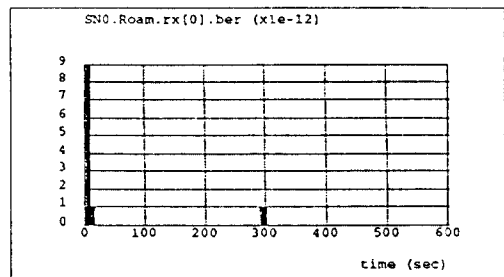


그림 5-27. 120W jamming시의 BER.
Fig.5-27. BER on 120W jammer.

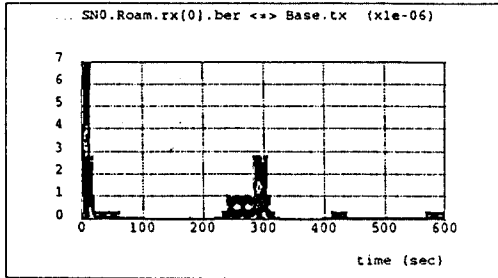


그림 5-28. 300W jamming시의 BER.
Fig.5-28. BER on 300W jammer.

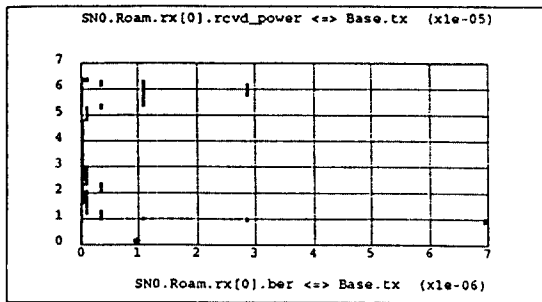


그림 5-29. jamming 부재시 신호전력 대 BER 산포도.
Fig.5-29. received power vs. BER scattering diagram with no jamming.

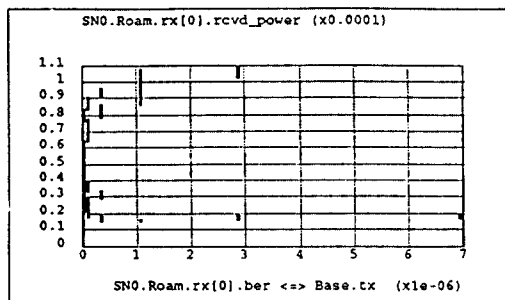


그림 5-30. 300W jamming시 신호전력 대 BER 산포도.
Fig.5-30. received power vs. BER scattering diagram on 300W jammer.

Ⅶ. 결 론

군통신망의 근간으로 이루어진 데이터 통신망의 구축을 위하여 본 연구에서는 계층적 구조설계에 의하여 각종 통신모듈의 모델을 설정하고 네트워크를 구성하여 여러가지 통신 link에 대한 전송성능을 평가하였다.

각 통신 node에서는 데이터 전송에 관련된 각종 데이터를 통계적으로 산출하였고 부분적으로 구성된 하위층의 모델들을 접속하여 하나의 subnet으로 구성된 레이다 정보망의 전체적 성능을 분석하여 봄으로써 각종 망구성 형태에 대한 비교판단이 가능하였으며 각 형태의 포괄적인 효율 측정이 가능하였다. 본 연구에서는 통합망의 설계를 group, subnet, RIDN의 공간적 계층으로 분류하여 bottom-up 방식으로 단계별 설계를 시도하였고 부분적, 개별적 기능의 모델들을 조합 함으로써 전체적 망구성의 종합적 성능과약이 용이 하도록 하였으며 시스템의 최적화 설계를 위해 부분적 수정이 가능하도록 기본 모델들을 모듈식으로 설계하였다.

또 subnet 단계에 사용되는 무선 link에는 jamming 효과를 고려 하여 종합망수준에서의 무선통신 채널 이용을 위한 통신성능도 분석하였다. 본 연구가 대상으로한 레이다는 다중 레이다 방식으로서 netted radar의 bistatic방식도 이에 준하는 레이다 특성을 가지고 있다.

본 연구에서 수행한 시뮬레이션 결과로부터, 공간적 계층구조에 의한 통신망 설계법의 효율성을 입증하였으며 규모모델을 통한 시스템의 시뮬레이션 결과가 이론적 수치에 매우 근사함으로써 본 연구에서 사용한 규모모델 알고리즘이 이론적으로 타당함을 보였다.

참 고 문 헌

1. Robert B. Walford, "Information Networks," Addison Wesley Publishing Company, New York, 1990.
2. Roshan L. Sharma, "Network Topology Optimization," Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
3. A. Farina & E. Hanle, "Position Accuracy in Netted Monostatic and Bistatic Radar," IEEE

- Transactions AES, Vol. AES 19, No.4, pp. 513-520, Jul.1983.
4. M. I. Skolink, "Introduction to Radar System," McGraw-Hill Book Company, New York, 1980.
 5. M. I. Skolink, "Radar Handbook," McGraw Hill, Publishing Company, New York, 1990.
 6. Uyles Black, "OSI AModel for Communication Standard," Prentice Hall, 1991.
 7. E. Conte, E. D'Addio, A. Farina & M. Longo, "Multistatic Radar Detection Synthesis and Comparison of Optimum and Suboptimum Receivers," IEE Proc., CRSP, Vol. 130, Pt.F, No.6, pp.484-494, Oct.1983.
 8. A. A. R. Townsend, "Digital Line of Sight Radio Links," Prentice-Hall, 1988.
 9. Jhon Walker, "Mobile Information Systems," Artech House, 1990.
 10. Bell Core, "Telecommunication Transmission Engineering," 1990.
 11. Martin K, Simon et al, "Spread Spectrum Communications," Computer Science Press, 1985.
 12. Edward A. Lee, David G. Messerschmitt, "Digital Communication," Kluwer Academic Publisher, 1988.
 13. David J. Morris, "Communication Command and Control System," Pergamon Press, Israel, 1977.
 14. Roger L. Freeman, "Telecommunication System Engineering," Jhon Wiely & Sone, New York, 1989.
 15. James Bao Yen Tsui, "Digital Microwave Receiver Theory & Concept," Artech House Inc., 1989.
 16. Andrew F. Inglis et al, "Electronic Communication Handbook," Mcgrawhill book Company, 1988.

金 春 吉 (Choon Gil Kim) 正會員
韓國科學技術大學 教授

李 亨 宰 (Hyung Jae Lee) 正會員
1933年 3 月20日生
한국항공대학 전자공학과 졸업
경희대학교 대학원(공학박사)
한국항공대학 교수