

효율적인 항공기 위치 파악을 위한 다중 레이더 자료 융합의 네트워크 모델링 및 분석

Network Modeling and Analysis of Multi Radar Data Fusion for Efficient Detection of Aircraft Position

김진욱·조태환·최상방·박효달*
인하대학교 전자공학과

Jin-Wook Kim · Tae-Hwan Cho · Sang-Bang Choi · Hyo-Dal Park*

Department of Electronics Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

[요 약]

데이터 융합 기술은 단일 독립 레이더에 의해 이루어지는 것보다 더 정확한 추정치들을 갖기 위해 다중 레이더와 관련 정보로부터 데이터를 결합한다. 본 논문에서는 다중 레이더에서 처리되는 패킷의 지연 시간 및 손실을 분석하여 다중 레이더 데이터 융합 시 중앙 자료처리 연산부에서 자료 처리 인터벌을 최소화한다. 이를 위하여 중앙 집중형 자료융합에 대한 레이더 네트워크를 모델링하고, NS-2를 이용하여 각각의 큐를 M/M/1/K로 가정하고 큐 내부에서의 패킷 지연시간과 패킷 손실을 분석한다. 분석 자료를 통해 다중 레이더 자료를 융합처리 할 때 평균 지연시간을 확인 하였으며, 이 지연시간은 융합센터에서의 레이더 자료 대기시간 기준으로 사용될 수 있다.

[Abstract]

Data fusion techniques combine data from multiple radars and related information to achieve more accurate estimations than could be achieved by a single, independent radar. In this paper, we analyze delay and loss of packets to be processed by multiple radar and minimize data processing interval from centralized data processing operation as fusing multiple radar data. Therefore, we model radar network about central data fusion, and analyze delay and loss of packets inside queues on assuming queues respectively as the M/M/1/K using NS-2. We confirmed average delay time, processing fused multiple radar data, through the analysis data. And then, this delay time can be used as a reference time for radar data latency in fusion center.

Key word : Fusion, Latency of Packet, Loss of Packet, NS-2, Tracking

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2014.18.1.29>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 12 November 2013; Revised 13 February 2014

Accepted 21 February 2014

*Corresponding Author; Hyo-Dal Park

Tel: +82-32-868-7240

E-mail: hdpark@inha.ac.kr

I. 서론

현대 항행시스템 중에서 레이더는 가장 중요한 시스템 중의 하나이다. 레이더는 2차 세계대전부터 사용된 역사가 긴 항행시스템이지만 현재의 항공감시체계는 여전히 레이더에 대한 의존도가 매우 높다[1]. 레이더가 이렇게 널리 쓰이고는 있지만, 항공기 위치를 정밀하게 획득하지는 못한다. 이런 단점을 극복하기 위해 제안된 방법이 다중 레이더 자료 융합이다 [2],[3]. 다중 레이더 자료 융합은 2개 이상의 레이더들을 통합하여 운용함으로써, 다수의 레이더에 의한 데이터들을 종합하고 분석하여 표적에 대한 탐지율 및 정확도를 증대시킬 수 있다. 일례로 중장거리 레이더와 단거리 저고도 레이더를 지형 여건에 따라 복합적으로 배치하면 탐지 사각지대를 감소시킬 수 있는 것이다. 또한 한 레이더가 고장이 나거나 전파 방해로 작동하지 않는 상황 등에 대해서도 대응능력이 커지게 된다.

따라서 본 논문에서는 다중 레이더 자료 융합 과정을 네트워크 모델링하여 큐 내부에서의 패킷 지연시간과 패킷 손실을 분석하고자 한다. 이 분석을 통해 다중 레이더 자료를 융합할 때 얼마의 지연시간이 걸리는지 확인할 수 있다. 이 지연시간이 중앙 자료처리 연산부에서 자료 처리 시 최소한의 자료처리 인터벌로 사용될 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 관련 연구로 다중 레이더 자료 융합과 네트워크 모델링에 사용된 큐잉 이론에 대해 설명하고, 3장에서는 레이더의 네트워크 모델링을 설명한다. 4장에서는 레이더 네트워크 모델링의 성능 분석을, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 연구 성과와 앞으로의 연구 과제를 제시하며 본 논문을 마무리한다.

II. 관련연구

2-1 다중 레이더 자료 융합

다중 레이더 자료 융합은 중앙집중형 자료 융합과 분산형 자료 융합으로 구분된다. 모든 레이더의 자료를 하나의 융합 센터에서 처리하는 융합방법이 중앙집중형 자료 융합이다[4]. 중앙집중형 자료 융합은 이론적으로 가장 정확한 추적을 구현할 수 있지만, 구현에 어려움이 많이 따른다. 그림 1은 중앙집중형 자료 융합을 나타낸다.

분산형 자료 융합은 다수의 레이더에서 자료를 분산처리하고 여기서 얻어진 추정치와 공분산을 융합센터로 전송하여 레이더 자료를 융합하는 방식이다[5]. 중앙집중형 자료 융합은 모든 측정치를 융합하기 때문에 계산량이 매우 많은 단점이 있지만 분산형 자료 융합은 레이더 자료의 추정치와 공분산만을 융합하기 때문에 계산량이 적다는 장점이 있다. 그림 2는 분산형 자료 융합을 나타내며, 그림 1, 2에서는 측정치인 $z(k)$ 를 중앙필터 또는 지역필터를 통하여 계산된 추정치 $\hat{x}(k)$ 와 공분산

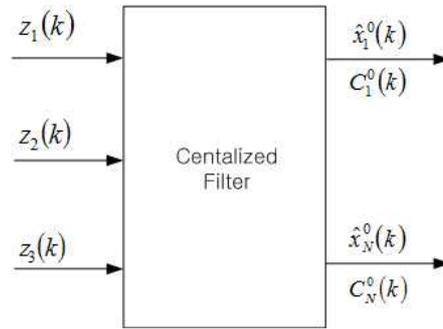


그림 1. 중앙집중형 자료 융합
Fig. 1. Central data fusion

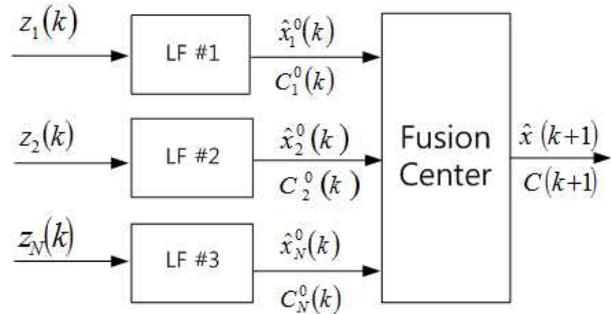


그림 2. 분산형 자료 융합
Fig. 2. Distributed data fusion

$c(k)$ 와의 방식별 자료융합을 나타낸다.

2-2 큐잉 이론

큐잉 이론은 네트워크 환경에서 큐를 수학적으로 해석하는 이론이다[6]. 큐잉 이론을 통하여 큐에 도착하는 이벤트, 큐에 대기하는 이벤트, 큐에서 빠져 나와 서비스를 받는 네트워크 이벤트들의 수학적 분석을 할 수 있다. 다만 시간에 따라 다양하게 이벤트들이 변하기 때문에 이러한 랜덤한 상황을 측정하여 의미 있는 값으로 표현할 수 있어야 한다. 큐잉 시스템에서는 큐에서 기다리는 평균 시간, 큐에 대기하는 멤버의 기대 값, 서비스를 받는 멤버의 기대 값 등의 평균값을 측정치로 활용하게 된다. 그리고 서버가 비어있게 될 이벤트, 꼭 차게 될 이벤트, 큐 안에 특정 수의 멤버가 있을 이벤트 등의 상태를 가지게 될 확률을 활용한다. 본 논문에서는 큐잉 이론 중에서 M/M/1/K 모델을 사용한다.

M/M/1/K는 큐잉용량이 K이고 서버가 하나인 단일 큐잉 모델이며, 고객의 도착 시간 간격과 서비스 시간은 M/M/1과 같다 [7]. 첫 번째 M은 도착간 시간(interarrival time)의 확률 분포, 두 번째 M은 서비스 시간(service time)의 확률 분포, 1은 서버의 수, K는 큐의 용량이다. 단위 시간당 도착 횟수는 포아송 과정 (Poisson process), 도착 시간 간격과 서비스 시간은 지수 분포

표 1. 확률 분포함수

Table 1. The distribution functions

구분	특징	비고
M	Exponential distributed	마코프 체인
D	Time is deterministic	시간이 고정된 경우
G	General distributed	분포함수를 모르는 경우

(Exponential distribution)를 따른다. 도착률(Arrival rate)을 λ 라고 하고 서비스율(Service rate)을 μ 패킷 도착과 서비스 시간은 독립적인 이벤트이므로 시스템 안의 멤버 수를 연속시간 마코프 체인(Continuous markov chain)으로 모델링할 수 있다. 예를 들어 큐의 용량이 무한대인 단일 큐는 A/B/1/이라고 쓴다. A와 B의 확률 분포를 표현할 때 자주 사용되는 분포함수는 표 1과 같다.

III. 레이더 네트워크 모델링

본 논문에서는 레이더 네트워크 모델링을 위해 모든 측정치를 전송해서 처리하는 중앙집중형 자료 융합을 사용하였다. 레이더는 3개로 가정하였으며, 모델링은 그림 3과 같이 레이더 3개에서 자료 송신, 중앙 처리소에서의 자료 수신, 중앙 자료처리 연산부의 자료 통합 등으로 모델링하였다. 그리고 각각의 큐는 M/M/1/K로 가정하여 모델링하였다.

M/M/1/K의 입력은 패킷의 도착율, 패킷 서비스율, 큐의 크기이다. 패킷의 도착율은 각 레이더로부터 발생되는 데이터 패킷을 의미하며, 레이더는 동기화 되어 있지 않으므로, 패킷 도착 시간간격은 지수함수 분포를 갖도록 모델링하였다. 서비스율은 레이더 자료 처리율을 의미하며, 큐의 크기는 서비스 되는 큐로 나타낸다.

모델링의 핵심은 노드의 생성과 링크의 생성이다. 그림 4는 레이더 네트워크 모델링에서 노드의 생성을 나타낸다. 그림 4

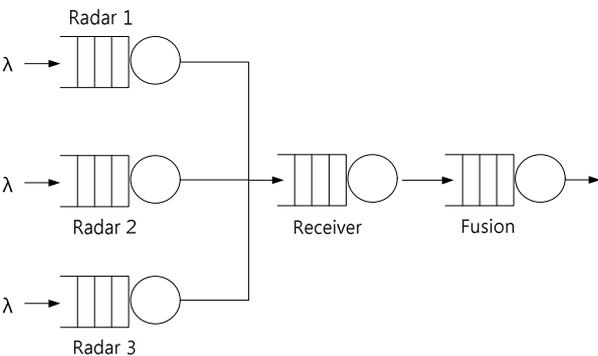


그림 3. 레이더 네트워크 모델링

Fig. 3. The radar network modeling

```

94 set S [$ns node]
95 set D [$ns node]
96 $ns duplex-link $S $D lookb oms DropTail
97 $ns queue-limit $S $D $qSize
    
```

그림 4. 레이더 네트워크 모델링에서 노드의 생성

Fig. 4. The node generation of radar network modeling

```

100 set udp [new Agent/UDP]
101
102 if ($qSize != 100000) {
103     $udp set packetSize_
104 }
105
106 $udp set fid_ 1 ;#flowid
107 $ns attach-agent $S $udp
108
109 set null [new Agent/Null]
110 $ns attach-agent $D $null
111 $ns connect $udp $null
    
```

그림 5. 레이더 네트워크 모델링에서 링크의 생성

Fig. 5. The link generation of radar network modeling

에서는 먼저 2개의 노드를 생성하는 모습을 나타내며, 총 5개의 노드를 생성해야 한다. 대역폭은 100 kb 를 주었고 전송 딜레이를 없애기 위해 0 ms를 세팅하였다. 큐잉 정책은 DropTail로 큐의 용량이 다 찼을 경우 뒤에 오는 패킷은 버리게 된다.

그림 5는 레이더 네트워크 모델링에서 링크의 생성을 나타낸다. 링크에 연결되는 데이터 전송 프로토콜은 UDP로 설정한다. TCP는 혼잡 제어 및 복구 알고리즘의 수행으로 인해 트래픽의 분포를 다양하게 변화시킬 수 없기 때문에 UDP를 사용한다.

마지막으로 트래픽의 생성과 모듈 설정은 그림 6과 같다. NS-2 에서 제공하는 지수분포 모듈을 이용하여 패킷 생성의 주기를 설정한다. 이로써 패킷의 도착 분포는 포아송 과정을 따르게 된다. NS-2에서는 서비스율을 동적으로 할당할 수 없기 때문에 대안으로 패킷의 크기 자체를 지수 분포를 따르게 함으로써 서비스율이 마치 지수분포인 것처럼 표현할 수가 있다. 또한 큐의 모니터링 모듈을 설정함으로써 큐 안의 패킷의

```

121 set InterArrival [new RandomVariable/Exponential]
122 $InterArrival set avg_ [expr 1/$lambda]
123 set pktSize [new RandomVariable/Exponential]
124 $pktSize set avg_ [expr 100000.0/($*smu)]
125
126 set monitor [$ns monitor-queue $S $D stdout]
127
128 $ns at 0 "sendPacket"
129 $ns at 0 "queueLength 0 0"
130
131 $ns at $stoptime 0 "stop"
132 $ns at $stoptime 1 "puts \"NS EXITING...\" ; $ns halt"
133
134 puts "Starting Simulation..."
135 $ns run
    
```

그림 6. 트래픽의 생성과 모듈의 설정

Fig. 6. The traffic generation and module setup

도착, 패킷의 사이즈, 총 도착 패킷 수 및 크기, 출발 패킷 수 및 크기, 손실 패킷 수 및 크기를 모니터링 할 수 있다.

IV. 성능 분석

4-1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 NS-2로 진행하였다. NS-2는 오픈소스로 배포되는 프로그램이어서 라우팅, 전송 프로토콜, 트래픽 타입, 큐잉 정책, QoS, 무선 네트워크 등의 제공된 모듈을 변경하여 원하는 시뮬레이션 환경을 조성할 수 있는 것이 특징이다[8]. 그러나 텍스트 기반이라는 것과 OTcl이라는 인터프리터 언어를 사용한다는 것, 부족한 매뉴얼 등이 단점이다. NS-2에서는 소스와 클라이언트 간의 링크에 대하여 다양한 큐잉 정책을 적용할 수 있으며, 큐 사이즈도 제한할 수 있다. 그리고 다양한 트래픽 타입과 확률 분포 함수를 제공하므로 각 큐잉 모델에 맞는 트래픽을 생성할 수 있다. 만약 포아송 과정으로 트래픽을 생성하고자 하면 생성 주기를 지수 분포로 주면 된다.

시뮬레이션 및 분석에 사용된 모델은 M/M/1/K 모델이며, 실시간 시스템 처리 성능에 대한 분석을 위해 큐 내부에서의 패킷 지연시간과 패킷 손실율을 시뮬레이션 하였다.

4-2 성능 평가

시뮬레이션에서는 레이더를 접근관제 레이더 2개와 항로관제 레이더 1개, 총 3개의 레이더를 구성하여 패킷 도착율을 설정하였다. 현재 사용 중인 레이더를 고려하여 접근관제 레이더는 각각 4초, 6초, 항로관제 레이더는 12초 마다 패킷이 전송된다고 가정하였다. 패킷 서비스율은 각각 0.5, 0.5, 1.0으로 설정하였고, 큐의 크기는 각각 2, 2, 3으로 설정하였다. 그림 7은 NS-2의 NAM 파일을 이용한 시뮬레이션 결과를 표시하였다. 각각의 레이더에서 패킷이 전송되고 있는 것을 알 수 있다. 실제로 시뮬레이션 분석에 쓰이는 파일은 NS-2 trace 파일이며, NAM 파일은 참고사항일 뿐이다. 시뮬레이션 시간은 2000

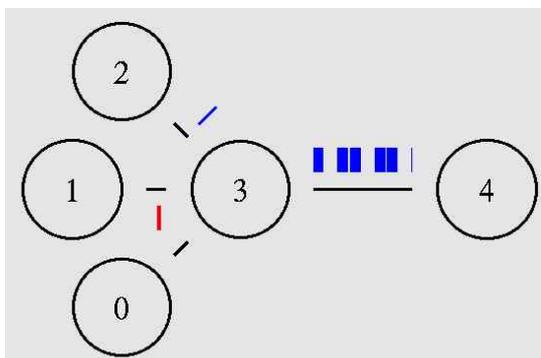


그림 7. NS-2 NAM 시뮬레이션 결과
Fig. 7. The simulation result of NS-2 NAM

초로 설정하였고, 시뮬레이션 시작 후 5초간의 데이터는 시뮬레이션 결과에서 제외하였다.

그림 8, 9, 10은 접근관제 레이더 2개와 항로관제레이더의 네트워크 지연시간을 나타낸다. 각각의 λ 는 0.25, 0.16, 0.08이며, μ 와 k 는 1과 3으로 모든 레이더에서 동일하다. 이와 같은 시뮬레이션을 μ 와 k 를 변화시켜 가면서 각각의 레이더 별로

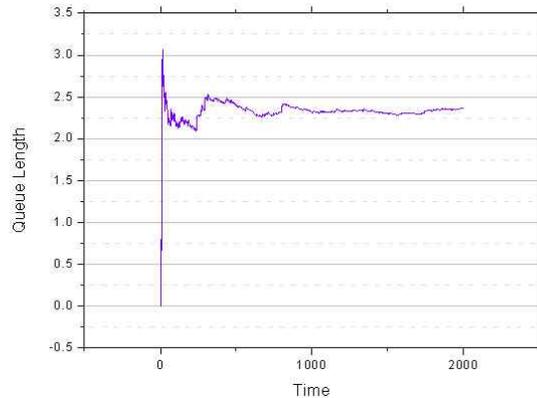


그림 8. 접근관제 레이더 1의 네트워크 지연시간
Fig. 8. The network delay of approach radar 1

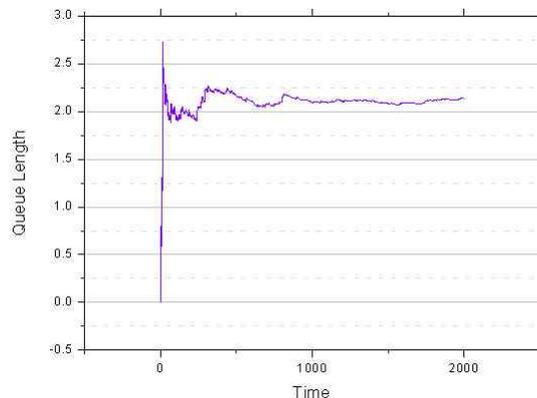


그림 9. 접근관제 레이더 2의 네트워크 지연시간
Fig. 9. The network delay of approach radar 2

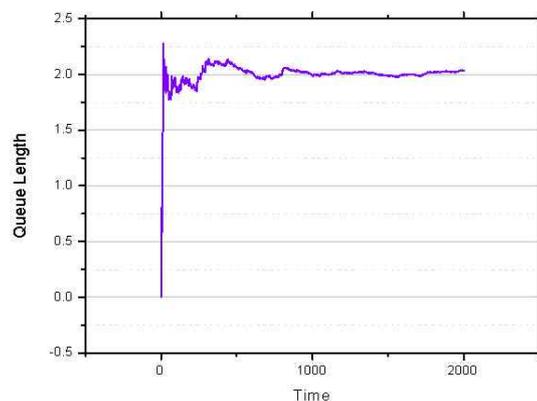


그림 10. 항로관제 레이더의 네트워크 지연시간
Fig. 10. The network delay of en-route radar

표 2. 시뮬레이션 결과
Table 2. The simulation results

구분	λ	μ	k	평균 지연 시간	패킷 손실
접근 관제 레이더 1	0.25	0.5	2	5.100	29
	0.25	0.5	3	6.277	20
	0.25	1.0	2	2.384	8
	0.25	1.0	3	2.411	3
접근 관제 레이더 2	0.16	0.5	2	4.865	15
	0.16	0.5	3	5.282	11
	0.16	1.0	2	2.254	3
	0.16	1.0	3	2.214	1
항로 관제 레이더	0.08	0.5	2	4.465	1
	0.08	0.5	3	4.493	0
	0.08	1.0	2	2.100	1
	0.08	1.0	3	2.003	0

시뮬레이션하여 정리하였고, 그 결과는 표 2와 같다. 접근관제 레이더 2개가 항로관제 레이더에 비해 평균 지연시간이 길게 측정되었다. 그리고 접근관제 및 항로관제 레이더 모두 μ 가 커질수록 지연시간이 감소하였다. 패킷 손실 역시 μ 가 커질수록 감소하였다. 큐의 크기에 따라 평균 지연시간이 다르게 나타났고, 큐의 크기가 증가하면 패킷 손실이 감소하는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과에 따라 중앙집중형 자료 융합의 경우 레이더 자료 전송 시 평균 지연시간 만큼의 지연이 발생한다. 따라서 중앙 처리소에서는 최소한 지연시간 만큼은 레이더 자료를 보관하고 있다가 융합에 사용해야 한다. 만약, 지연시간 이전에 자료를 처리하거나 레이더 자료가 손실되었음에도 불구하고 무한정 기다린다면 문제가 발생하게 된다. 따라서 평균적으로 지연시간만큼 기다린 후에 현재까지 들어온 레이더 자료를 이용해서 레이더 자료를 융합 처리해야 한다.

V. 결 론

최근 항공교통관제의 중요성이 증대됨에 따라 정확한 항공기의 위치 획득에 대한 문제가 지속적으로 대두되고 있다. 다중 레이더 자료 융합을 통해 보다 정확한 항공기의 위치를 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 효율적으로 처리하기 위해 레이더 네트워크를 모델링하고 분석하였다. 3개의 레이더에서 측정된 모든 측정치를 하나의 융합센터에 전송해서 처리하는 중앙집중형 자료 융합에 대해 모델링을 하였으며, 각각의 큐는 M/M/1/K로 가정하여 큐 내부에서의 패킷 지연시

간과 패킷 손실을 분석하였다.

이 분석을 통해 다중 레이더 자료를 융합처리 할 때 얼마의 지연시간이 걸리는지 확인할 수 있었다. 이 지연시간은 융합센터에서의 레이더 자료 대기시간 기준으로 사용될 수 있다. 즉, 대기시간이 너무 짧아 측정된 각 레이더 자료가 사용되지 못하는 경우를 방지하고, 레이더 자료가 손실되었음에도 불구하고 융합센터에서 오랫동안 레이더 자료를 기다리는 경우를 방지할 수 있다.

향후에는 레이더에 대한 네트워크 모델링 뿐만 아니라 차세대 항행시스템으로 각광받고 있는 ADS-B(Automatic Dependent Surveillance - Broadcast) 시스템, MLAT(Multilateration) 시스템 및 WAM(Wide Area Multilateration) 시스템의 네트워크를 모델링하고 분석하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 항공기술연구사업의 연구비 지원(과제번호 #07 항공-항행-03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] SKOLNIK, Merrill Ivan, *Radar handbook*, McGrawHill, 1970.
- [2] D. Smith and S. Singh, "Approaches to multisensor data fusion in target tracking : A Survey", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 18, No. 12, pp. 1696-1711, 2006.
- [3] Julio L. R. da Silva, Jose F. B. Brancalion, David Fernandes "Data fusion techniques applied to scenarios including ADS-B and radar sensors for air traffic control", in *12th International Conference on Information Fusion*, Seattle WA USA, pp. 1481-1488, July 2009.
- [4] Y. Gao, E. J. Krakiwsky, M. A. Abousalem and J. F. McLellan, "Comparison and analysis of centralized, decentralized, and federated filters", *Navigation: Journal of The Institute of Navigation*, Vol. 40, No. 1, pp. 66-86, Spring 1993.
- [5] Baud, O.; Gomord, P.; Honore, N.; Ostorero, L.; Taupin, O.; Tubery, P., "Multi Sensor Data Fusion Architectures for Air Traffic Control Applications", in *Sensor and Data Fusion*, Vienna, Austria, pp. 103-122, 2009.
- [6] Gross, Donald, and Carl M. Harris, *Fundamentals of queuing theory*, New York, Wiley, 1998.
- [7] Trivedi, Kishor Shridharbhai, *Probability and statistics with reliability, queuing, and computer science applications*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982.
- [8] Simulator, Network. "NS-2", 1989.



김진욱 (Jinwook Kim)

약력

1998년 3월 : 공군사관학교 전자공학과 (공학사)

2009년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과 통합과정

※ 관심분야 : 초고주파 레이더, 항공전자시스템, 항공교통관제시스템



조태환 (Taehwan Cho)

약력

2001년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)

2009년 3월 ~ 2014.2 : 인하대학교 전자공학과 (공학박사)

※ 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 항행시스템, 항공교통관제시스템



최상방 (Sangbang Choi)

약력

1981년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 : University of washington (공학석사)

1990년 : University of washington (공학박사)

1991년 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 컴퓨터 구조, 컴퓨터 네트워크, 무선통신, 병렬 및 분산처리 시스템



박효달 (Hyodal Park)

약력

1978년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)

1984년 : (불)국립항공우주대학 전자공학과 (공학석사)

1987년 : (불)국립항공우주대학 전자공학과 (공학박사)

1992년 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 초고주파 및 항공전자통신(초고주파 레이더, 인공위성, 항공통신장비)