

항공관제 시스템 자동화를 위한 자동 관제권 이양 알고리즘 연구

A Study On Automatic Control Sector Hand-off Algorithm For Air Traffic Control System Automation

김용균*, 원인수*, 윤준철*, 박효달*

Yong-Kyun Kim*, In-Su Won*, Jun-Chol Yun* and Hyo-Dal Park*

요 약

최근 항공교통량의 증가에 따라 효율적인 항공교통관제를 위한 자동화가 요구되고 있다. 항공교통 환경은 일반 교통 환경과는 다르게 공역 내의 섹터에 대한 항공기를 제어하는 관제사가 존재하며, 타 섹터로 이동시에는 해당 항공기에 대해 수동으로 관제권을 이양하고 있다. 이에 본 논문에서는 효율적인 항공관제를 위하여 항공기의 흐름을 유연하게 하기 위한 자동 관제권 이양 알고리즘 기법을 연구하였다. 항공기가 섹터 내에서 다른 섹터로 진입을 할 때, 이를 감지하여 해당 섹터 관제사가 관제 권한을 부여 받을 수 있도록 하는 섹터 판별 알고리즘을 구현 하였다. 성능평가 결과 기존의 단순한 수동관제 이양방식과 달리 제안된 알고리즘은 자동으로 관제권을 이양하도록 함으로써 효율적으로 항공교통관제를 할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

According to the recent increase in air traffic more efficient air traffic control automation is required. Aeronautical traffic environment is different from the common traffic environment since it exist controller for control of aircraft. And controller have to control jurisdiction hand-off by manual when aircraft move to the other sector. This paper proposes the automatic control jurisdiction hand-off algorithm for efficient air traffic flow management. It is sector distinction algorithm that aircraft move sector to the other sector it recognized sector and then give permission to authorized controller. As a simulation result, so unlike simply manual control sector hand-off of existing algorithm, we confirmed that proposed algorithm in this paper can do air traffic control more efficiently by performing automatic aircraft control sector hand-off.

Key words : ATC, ATM, Sector, FIR, Automation

I. 서 론

항공 교통 관제는 항공기 운항지역에서 항공기 간의 충돌과 항공기와 장애물 간의 충돌을 사전에 방지

함과 동시에 항공기들의 운항 효율을 촉진시키고 항공 교통의 질서를 유지하기 위한 시스템이다.

이를 위하여 항공 교통 관제 시스템은 항공기를 식별하고 그 위치를 표시하며 항공기의 안전 경보를

* 인하대학교 전자공학과 (Electronic Eng, Inha University)

· 제1저자(First Author) : 김용균

· 교신저자(Corresponding Author) : 박효달

· 투고일자 : 2010년 7월 22일

· 심사(수정)일자 : 2010년 7월 23일 (수정일자 : 2010년 8월 23일)

· 게재일자 : 2010년 8월 30일

위하여 비행 계획 데이터를 분배하여야 하며, 관제사의 요청을 처리하여야 한다[1][2].

우리나라는 국토의 협소성과 항공교통량의 수도권 집중현상 등 부정적인 요인이 많기 때문에 국민의 안전담보를 위한 체계적인 기능이 요구되고 있으며, 효율적인 영공 관리 및 항행에 있어서의 안전성 보장이 가능한 시스템이 요구되고 있다[3][4].

항공관제용 통합정보처리 시스템 개발의 핵심은 새로운 CNS개념에 기반을 둔 우리나라 전체 공역에 적용되는 AAS와 접근관제구역에 활용되는 ARTS 등의 첨단 시스템을 구축하는 것이며, 시스템 개발을 통해 우리나라 항공관제용 통합정보처리 시스템을 전면적으로 업그레이드 할 수 있을 뿐 아니라, 국제 기준에 부합되는 선진화 시스템을 개발함으로써 국내 기술의 우수성을 입증하여 우리나라의 항공기술 수준을 세계 정상급으로 끌어 올리는 기틀을 다질 수 있다. 또한 2013년경 도입될 서울 접근관제소 시스템 및 항공교통관제센터 시스템의 대체 시스템을 위한 연구개발을 통해 관련기술의 국산화를 구현할 수 있는 기반과 능력을 확보하고자 한다[5].

논문은 항공기가 섹터 내에서 다른 섹터로 진입을 할 때, 이를 감지하여 해당 섹터 관제사가 관제 권한을 부여 받을 수 있도록 하는 섹터 판별 알고리즘을 구현하였다.

구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 알고리즘에 대하여 소개하고 이어서 3장에서는 프로그램 설계 및 구현에서는 제안된 알고리즘을 이용하여 섹터를 가로지르는 항공기의 위치를 식별하기 위해 어떠한 구성을 하였는지를 나타내며, 모의실험을 통하여 설계된 프로그램에 대한 알고리즘 성능을 평가하고 마지막으로 4장에서는 성능에 대해 고찰을 함으로써 끝을 맺는다.

II. 본 론

우리나라의 공역은 크게 7개의 관제섹터로 나뉘어져 있다. 우리나라의 공역은 수도권에 집중되어 있으며, 시간에 따라서도 공역 사용량은 큰 차이를 보이고 있다. 항공기의 항행이 뜬한 새벽과 늦은 저녁에

는 관제섹터를 서로 묶어 소규모의 관제구역으로 관제를 하고 있다.

관제섹터간의 이동을 감지하기 위하여 PIP(Point In Polygon) 알고리즘을 고려하였다.

2-1 PIP 알고리즘

PIP 알고리즘은 평면 위의 주어진 점이 안쪽, 바깥쪽 혹은 다각형의 경계면 위에 있는지를 알아보는 것이다[4][5].

점 p 가 다각형 P 내에 놓이는가에 대한 실험은 공간 응용에서 매우 공통적인 연산이다. 일반적인 알고리즘은 다음의 단순한 비평에 기초한다.

만약 우리가 p 에서부터 시작하는 반직선 (혹은 광선) l 을 그리고, 광선 l 을 교차하는 P 선분에서의 수를 세어본다면, 이 수는 만약 p 가 P 의 외부에 있다면 짝을 것이고, 그렇지 않다면 홀수이다.

이 사실은 간단한 알고리즘을 시사하는데, 이는 다음과 같이 적용한다.

첫째, P 의 경계를 스캔하고 p 에서부터 그려진 반직선의 가지고 교차점의 각각의 edge를 테스트한다.

이는 방향은 문제가 되지 않기 때문에, 단순한 선택은 그 광선을 위한 x 축을 사용하기 위한 것이다. 첨두점의 목록은 단 한번만 스캔 되어야 한다. 그러므로, 결과 알고리즘은 $O(n)$ 이다

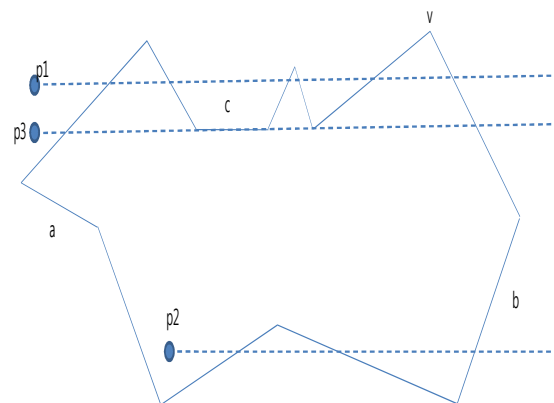


그림 1. PIP 알고리즘의 예
Fig. 1. example of PIP algorithm

몇 가지 특별한 경우들은 특별한 주의를 하여야 한다. 예를 들어, 그림 1에서 점 $p3$ 를 생각해 보자. 단순한 계산으로는 l 을 가지는 아홉 개의 가장자리 교차

점의 결과를 가진다.

즉, a에서 시작하여 b로 끝나는 (시계반대방향 순서로 일상적으로 스캔되는)P의 각각의 가장자리는 l 과 교차하는 것으로 사려 되기도 한다.

그러므로, 우리는 p3가 사실 P 내부에 있다고 추론한다. 그러한 사례들을 다루기 위한 방법은 쉽지 않다.

예를 들자면, 최종 정점을 제외함으로써 반쯤 닫힌 부분으로 각각의 가장자리를 해석하는 것은 그림에도 불구하고 다섯 개의 교차점에 있는 이런 예증의 결과를 가져온다.

이런 문제들을 해결하기 위해, 첫 번째 방안은 다음의 규칙들을 적용하는 것으로 구성된다.

- (1) l을 가지는 동일선상의 가장자리는 세지 않는다.
- (2) 만약 엄밀히 말한다면 l위에 적어도 하나의 중점이 존재한다면 교차하는 가장자리로써만 가장자리 e를 센다.

이러한 규칙들을 적용함으로써, 그림 12에서 가장자리 a,b,c는 점 p3의 포함 테스트 때 세지 않는다. 교차점들의 수는 그때엔 여섯 개가 되며, p3가 P 외부에 있다는 정확한 결론을 이끌어낸다. 이 사실은 대부분의 특별한 경우들을 해결하지만, 전부 그런 것은 아니다.

예를 들어,그림 1에서 꼭지점 v는 이전에 묘사된 PIP테스트를 통과하지 못한다. 그 점이 경계에 놓인다는 것을 테스트하기 위한 예비 스캔이 최종 알고리즘을 얻기 위해 필요하다는 사실이 뒤따른다.

```

bool PointInPolygon ( t, P )
returns( TRUE,FALSXE);
e0=Va-1;
e1=V0
bool yp=(e
if(p is on one edge of P), p is inside P
else
count=0;
l=horizontal ray containing p
for(i=1 ton)
begin
if((INTERSECT(edge(i),l)andnotCOLLINEAR(edge(i),l))then
begin
if(one endpoint of edge(i) is strictly above l)
count=count+1
end
end for
if(count is odd), p is inside P
endif
end
    
```

그림 2. PIP 알고리즘 의사 코드
Fig. 2. PIP algorithm pseudo code

III. 프로그램 설계 및 구현

3-1 프로그램 구현

항공기가 섹터 내에서 다른 섹터로 진입을 할 때, 이를 감지하여 해당 섹터 관제사가 관제 권한을 부여 받을 수 있도록 하여야 한다.

섹터를 구성하기 위해서는 규정된 공역과 레이더와 관련된 운영직무를 논리적으로 배열하여야 한다.

공역 볼륨은 스트립 포스팅 구역으로 그룹지어진다. 스트립 포스팅 구역은 섹터 그룹으로 수집되고 이것들은 교대로 관할 구역에 맵핑된다. 개별 관할 구역은 Suite의 이름으로 지정되고 이 suite는 1대 이상의 관제석의 조합체가 된다.

개별 운영역할은 관제석에 기본적으로 정해진다.

한대의 관제석은 이미 지정된 다중역할을 가지며 한대의 관제석은 단일 센서 활동을 위해 최대 5대의 레이더를 보유한다.

그림3은 섹터가 어떻게 구성되는지와 관제석에서 섹터를 어떻게 나누어 사용하는지를 나타내며, 그림 4은 현재 우리나라의 공역과 섹터는 나타낸다.



그림 3. 섹터의 구성
Fig. 3. Sector configuration

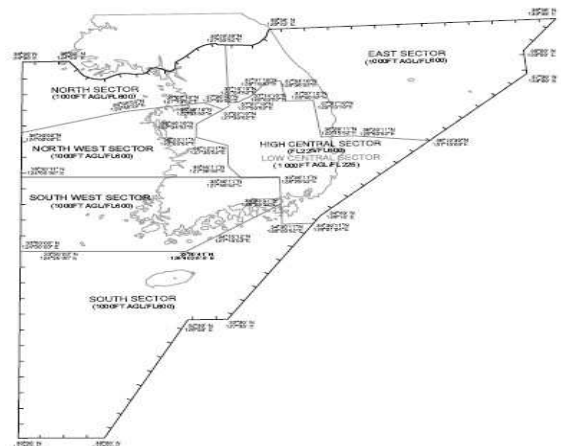


그림 4. 우리나라 공역과 섹터의 구성
Fig. 4. incheon FIR and sector configuration

그림 5는 항공기의 섹터변경 유무를 확인하기 위하여 설계된 알고리즘이다. 우선 섹터 정보를 로딩하여 메모리에 저장시키고 해당 항공기의 위치를 검색한다. 항공기의 위치가 다른 섹터로 이동하는 경우 관제사에게 이를 알려 관제를 할 수 있도록 한다.

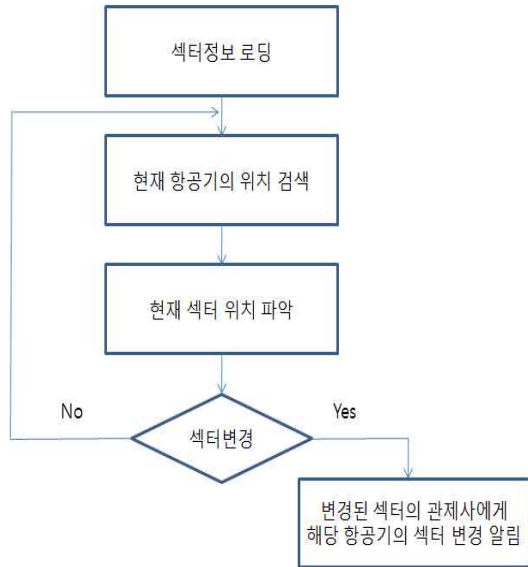


그림 5. 섹터 판별 알고리즘 구성
Fig. 4. configuration of Sector discrimination algorithm

그림 6은 섹터 데이터 구성의 예로 북위좌표와 동경좌표로 이루어져 있다. 섹터 좌표를 PIP 알고리즘을 이용하여 다각형을 형성하고 항공기의 위치 좌표를 대입하여 해당 항공기가 어떤 섹터에 위치하고 있는지를 판별 하도록 하였다.

```

380000N1240000E
380000N1245000E
374600N1244800E
374000N1250400E
374100N1252800E
374500N1254000E
374500N1255500E
374000N1260000E
374255N1260633E
374700N1261500E
374500N1263000E
381300N1270800E
381300N1274000E
370210N1273952E
365810N1273352E
370710N1271352E
365650N1254822E
363000N1240000E
380000N1240000E
  
```

그림 6. 섹터 데이터의 구성
Fig. 6. configuration of Sector coordinates data

그림 7은 섹터 판별 알고리즘을 이용하여 항공기의 위치에 따른 섹터 판별 결과이다.

lon 은 경도를 나타낸다. 양의 값은 적도를 기준으로 북쪽을 나타내며 음의 값은 적도를 기준으로 남쪽을 나타낸다. 또한 lat는 동경 좌표로 그리니치를 본초자오선으로 하여 동쪽은 양의 값을 가지며 서쪽은 음의 값을 가지도록 하였다.

```

lon : [36.402800], lat : [126.593300] NORTH WEST
lon : [36.350000], lat : [126.581700] NORTH WEST
lon : [36.242900], lat : [126.570400] NORTH WEST
lon : [36.132100], lat : [126.554800] NORTH WEST
lon : [36.054800], lat : [126.550100] NORTH WEST
lon : [35.552600], lat : [126.534700] NORTH WEST
lon : [35.372800], lat : [126.514800] NORTH WEST
lon : [35.182400], lat : [126.495100] SOUTH WEST
lon : [34.592300], lat : [126.473600] SOUTH WEST
lon : [34.390000], lat : [126.452200] SOUTH WEST
lon : [34.135200], lat : [126.424600] SOUTH WEST
lon : [33.552400], lat : [126.414600] SOUTH WEST
lon : [33.502400], lat : [126.404600] SOUTH
lon : [33.482400], lat : [126.395400] SOUTH
lon : [33.452400], lat : [126.394600] SOUTH
lon : [33.452400], lat : [126.394600] SOUTH
  
```

(a)

```

lon : [38.234000], lat : [137.422300]
lon : [37.350000], lat : [136.273200]
lon : [37.242900], lat : [135.570400]
lon : [37.243100], lat : [133.544300]
lon : [37.124800], lat : [132.495500] EAST
lon : [37.045500], lat : [131.585500] EAST
lon : [36.553400], lat : [129.564500] EAST
lon : [36.523500], lat : [128.043200] JEJU
lon : [36.433200], lat : [127.462100] JEJU
lon : [36.274300], lat : [126.595600] NORTH WEST
lon : [35.372800], lat : [126.514800] NORTH WEST
lon : [35.372800], lat : [126.514800] NORTH WEST
lon : [35.182400], lat : [126.495100] SOUTH WEST
lon : [34.592300], lat : [126.473600] SOUTH WEST
lon : [34.390000], lat : [126.452200] SOUTH WEST
lon : [34.135200], lat : [126.424600] SOUTH WEST
lon : [33.552400], lat : [126.414600] SOUTH WEST
lon : [33.502400], lat : [126.404600] SOUTH
lon : [33.482400], lat : [126.395400] SOUTH
lon : [33.452400], lat : [126.394600] SOUTH
lon : [33.452400], lat : [126.394600] SOUTH
  
```

(b)

```

lon : [33.502400], lat : [126.404600] SOUTH
lon : [33.552400], lat : [126.414600] SOUTH WEST
lon : [34.135200], lat : [126.424600] SOUTH WEST
lon : [34.390000], lat : [126.452200] SOUTH WEST
lon : [35.343500], lat : [126.595600] NORTH WEST
lon : [36.344300], lat : [128.595600] JEJU
lon : [36.553400], lat : [129.564500] EAST
lon : [37.124800], lat : [132.495500] EAST
lon : [37.045500], lat : [131.585500] EAST
lon : [37.045500], lat : [131.585500] EAST
  
```

(c)

```
lon : [38.274500], lat : [135.262100]
lon : [37.274500], lat : [128.262100] JEJU
lon : [37.273200], lat : [128.162200] JEJU
lon : [37.273400], lat : [128.043200] EAST
lon : [37.264500], lat : [127.592100] EAST
lon : [37.261700], lat : [127.573700] EAST
lon : [36.042100], lat : [126.044200] NORTH WEST
lon : [35.442300], lat : [125.434400] NORTH WEST
lon : [35.125400], lat : [1221.541200]
lon : [34.455200], lat : [120.576500]
```

(d)

그림 7. 모의 실험 결과
Fig. 7. Simulation results

그림 7의 (a)는 군산 출발 제주 도착 국내선에 대한 섹터 판별을 한 결과이다. 북서 섹터에서 남서 섹터를 거쳐 제주도가 있는 남쪽 섹터로 항공기가 이동하며, 이에 따라 관제권이 이동하여야 함을 알 수 있다. 그림 7의 (b)는 동해안을 통해 해외에서 국내 제주로 항행하는 항공기에 대한 섹터 판별 결과이다. 국내 관제구역(FIR)내에 없을 경우 빈칸으로 나타내었고, 국제 관제가 시작되는 동쪽섹터에서 제주섹터 북서 섹터에서 서쪽 섹터로 관제권이 이동하여야 함을 알 수 있다. 그림 7의 (c)는 국내 제주에서 해외로 항행하는 항공기에 대한 섹터 판별 결과이다. 남쪽섹터에서 남서 섹터, 제주 섹터를 거쳐 동쪽 섹터를 거쳐 국내관제구역을 빠져나감을 알 수 있다. 그림 7의 (d)는 국내를 통과하는 항공기에 대한 섹터 판별 결과이다. 일본에서 동해안을 통해 제주 섹터에서 동쪽 섹터 남서 섹터를 통해 중국으로 이동함을 알 수 있다.

모의 실험 결과 항공기가 섹터를 이동함에 따라 항공기의 섹터위치 데이터가 바뀌는 것을 확인 할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문은 항공기가 섹터 내에서 다른 섹터로 진입을 할 때, 이를 감지하여 해당 섹터 관제사가 관제 권한을 부여 받을 수 있도록 하는 섹터 판별 알고리즘을 구현하였다

항공기의 위치값을 입력하여 모의실험을 한 결과 알고리즘이 성능을 만족함을 확인하였다.

본 연구는 증가하는 항공교통량에 대해 효율적인 과제가 이루어지기 위한 자동 관제이양 알고리즘 연구의 자료로 활용 될 수 있다고 판단된다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] RTCA Inc, "Final Report of the RTCA Task Force 3, Free Flight Implementation,"
- [2] Gibbs, "Free-For-All Flights," *Scientific American*, Vol 273, no. 6, pp 34-37, Dec 1995.
- [3] 항공교통센터 홈페이지, <http://acc.mltm.go.kr>
- [4] Daniel Delabaye, Jean-Marc Allot, Marc Shoenauer and Jean-Loup Farges, "Genetic algorithms for automatic regroupment of air traffic control sectors," *In proceedings of the conference on Evolutionary Programming* 1995.
- [5] Paul T.R. Wang, Richard E. Snow, "Airspace geometry and 4D flight proximity detection for simulation of the national airspace system," *Proceedings of the 2006 winter simulation conference*, pp.1562-1568, Dec. 2006.
- [6], "Wikipedia, http://www.wikipedia.org/wiki/Point_in_polygon
- [7] W.Randolph Franklin, PNPOLY-Point Inclusion in Polygon Test, http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/wrf/Research/Short_Notes/npoly.html

김 용 균 (金 龍 均)



2004년 2월 : 금오공과대학교
전자공학과(공학사)
2006년 2월 : 인하대학교
전자공학과(공학석사)
2006년 3월~현재 : 인하대학교
전자공학과 박사과정

관심분야 : 항공전자시스템, 항공교통관제시스템,
4D 궤도 모델링

원 인 수 (元 仁 秀)



1999년 3월~2006년 2월 인하대학교
전자공학과(공학사)

2009년 2월 인하대학교
전자공학과(공학석사)

2009년 3월~현재 인하대학교
전자공학과 박사과정

관심분야: 비디오 코덱, 비디오,
항공교통관제시스템, 현시시스템

박 효 달 (朴 孝 達)



1978년 2월:인하대학교 전자공학과
(공학사)

1987년:(불)국립항공우주대학
전자공학과(공학박사)

1992년~현재: 인하대학교
전자공학과 교수

관심분야 : 초고주파 및 항공전자
통신(초고주파회로 레이다, 인공위성, 항공통신장비)

윤 준 철 (尹 俊 喆)



2006년 2월 : 한국산업기술대학교
전자공학과(공학사)

2008년 2월 : 인하대학교
전자공학과(공학석사)

2009년 3월~현재 인하대학교
전자공학과(박사과정)

관심분야 : 컴퓨터구조, 컴퓨터네트
워크, 무선통신