

# 항공기 지상지연방지를 위한 슬롯교체 메커니즘

## The Concept of Slot Exchange Mechanism for Prevention of Ground Delay

안재형\*, 강자영(한국항공대학교)

### 1. 서 론

항공교통흐름관리(Air Traffic Flow Management : ATFM)의 업무는 항공교통관계 수용능력을 최대화하고, 관련 항공교통업무기관에서 정한 수용능력과 교통량간의 조절을 통하여 항공교통 안전과 질서정연하고 신속한 교통흐름을 제공하기 위한 목적으로 수행된다. 또한 항공교통량이 급속하게 증가함으로써 항공교통관리를 주도적으로 제공할 수 있는 항공교통흐름관리센터(Air Traffic Flow Management Center : ATFM Center)의 중요성이 대두되고 있다. 모든 항공기가 정해진 수용량에 따른 정해진 스케줄로 운항하지 않기 때문에 효과적인 ATFM 절차 수립을 위해서는 항공기의 불확실성을 해결하는 것이 중요하다. 불확실성을 줄이기 위하여 공동의사결정(Collaborative Decision Making : CDM)을 통하여 지상지연프로그램(Ground Delay Program : GDP)이나 항로의 재설정 정보를 제공할 수 있다. CDM의 하나의 방법으로 항공기의 출발시간의 슬롯을 공역사용자간에 교환 정보를 제시하여준다. 과거 몇 년간 연구의 주제는 불확실성에 대한 확률적인 모델의 개발로 ATFM을 이끌어 왔다. 하지만 ATFM 시스템과 절차 개발로 불확실성을 다루는 것은 여전히 중요한 연구주제이고 큰 문제를 해결할 수 있는 분야로 남아있다.

본 논문은 슬롯교환방법에 대하여 자세히 분석하는 반면 큰 목표인 반응기술의 이득과 이런 메커니즘의 핵심특성을 ATFM 계획에서 확인하는 것이다.

협력시간 슬롯 대체 방법(Slot Credit Substitutions : SCS)은 지연이나 취소된 항공기의 빈 슬롯의 대체 항공기를 쉽게 찾기 위하여 CDM에서 개발되었다. SCS의 큰 특징이라고 할 수 있는 두 가지 중요한 것은 1) 요청 자에게

실시간 가깝게 대응을 제공해야하며, 2) 요구자의 요청에 대하여 적절한 슬롯을 제공하여야 하고, 제공받은 항공사는 어떠한 불만이 있어서는 안 된다. 본 논문에서는 다른 주제들 중에서 두 가지의 조건들을 연구하여 특징을 이해한다.

### 2. 불확실성의 원인과 해결 방법

이러한 연구를 시작하기 앞서 불확실성이 발생하는 원인의 분류와 최소화 할 수 있는 방법에 대하여 살펴보도록 하자.

#### 가. 불확실성의 원인

불확실성의 원인은 4가지로 나누어 볼 수 있는데 처음의 세 가지는 문헌적인 면으로 설명하였고 나머지 한 가지는 Beatty의 참고문헌[1]에서 처음 다루어졌다.

첫 번째는 공역사용자의 불확실성으로 출발, 도착, 항로상의 비행시간이 계획과 맞지 않아서 발생하는 것이다. 그 원인으로는 항공기의 기계적인 문제, 승객의 탑승문제, 항로상의 기상문제, 항로상이나 공항에서 순번의 문제 등이 있다.

두 번째로 수용량의 불확실성은 공항이나 공역에서 주로 발생하는데 여러 공역사이의 처리능력의 차이가 주요 원인이다. 발생 원인으로는 기상요인과 이착륙 중에 분리를 위한 간격조정에 있다.

세 번째는 ATFM 조정 행위는 교통당국의 항공교통관리자와 관제사의 책임으로 앞의 두 가지의 불확실성(공역사용자, 수용량)의 형태로 발생한다. 조정행위에서 의사결정 인적요인은 불확실성의 다른 요인으로써 고려되지 않는다. ATFM 행위(지상지연프로그램, 분리기준, 전략 변경계획)는 누가 지시하고 누가 받아들이는지 명확하게 알려져 있지 않다.

마지막으로 조율과 타이밍의 행동에 관련된

불확실성은 희박하지만 큰 영향력이 있다. 비행 관제사와 항공기들이 그들에게 주어진 대략적인 타이밍과 실시해야 할 행동들에 대하여 정확한 타이밍에 실시해야 할 행동으로 인하여 미치는 영향에 대하여 특정항공기 성능에 관련된 높은 수준의 불확실성을 갖고 있다. 예를 들면 몇 분이나 몇 초의 시간 간격이 항공기 순서에 대하여 큰 영향을 미치고 연료의 부족이나 승무원의 비행시간 초과로 인한 대체공항으로 목적지를 변경하여야 하는 경우가 발생할 수도 있다. 이런 모든 경우는 항공기 운항에 있어서 성능통계에 매우 큰 영향을 미친다.

#### 나. 불확실성의 최소화

연구개발에서 불확실성의 해로운 영향을 줄이기 위한 시도는 여러 방법으로 이루어져 왔다. 가장 기본적인 접근방법은 앞으로 일어날 사건을 예측하여 불확실성을 줄이거나 제거하는 것이다. 두 번째로는 연구개발 부서에서 미래에 가능성 있는 모든 일에 대하여 공식화하는 계획을 만들기 위해서 대체 시나리오를 만들고 시뮬레이션 하는 것이다. 세 번째 접근은 환경의 변화를 적용할 수 있는 계획을 개발하는 것이다. 미래를 정확하게 예측하는 중요성을 강조하는 것은 아니다. 이제 각각의 세부사항을 살펴보자.

불확실성을 다루는 가장 성공적이고 널리 알려진 접근방법은 예측을 가능하게 만들어 주는 정보의 품질을 향상시키는 것이다. 기상예보를 정확하게 예측하는 것은 공역의 수용량인 측면에서의 불확실성을 줄일 수 있는 한 가지 방법이다.

다른 방법으로 CDM을 들 수 있다. 이것은 공역관리자와 사용자간의 긴밀한 상호 협동적 시스템으로 CDM의 중요 목적 중에 하나는 당국의 데이터와 운항 항공사의 일일운항계획을 참조하여 도착공항의 수요 예측정보의 질을 향상시키는 것이다. 항공사가 당국에게 운항의 취소나 지연을 통보함으로써 수정된 수용량을 예측함에 따라 수요예측에서 극적인 향상을 이루었다. 샌프란시스코국제공항(San Francisco International Airport : SFO)의 1999년 1월부터 1999년 5월까지의 CDM 성능 데이터의 분석에서 살펴보면 CDM 시스템의 사용 전에는 운항 취소는 원이륙예정시간(Original Estimate Departure Time : OEDT)보다 평균 29분 뒤에 GDP가 알게 되었지만 CDM시스템의 사용 후에는 OEDT보다 평균 48분 전에 알게 되었다. GDP의 계획과 통제의 정보 질에 향상을 이끌어

냈다.

두 번째 방법으로는 다양한 가능성을 정의하고 해결책을 찾아가는 방법이 있다. 이것은 통계학적 최적화에 관한 문헌적인 방법이다. 이 분야에서는 매우 잘 알려진 접근방법으로 미래의 시나리오에서 다양한 가능성을 정의하고 최적화 할 수 있는 문제를 모든 시나리오 시스템 성능에서 기대할 수 있는 가치를 최대화 할 수 있게 해결하는 것이다. 이 접근방법은 수용량의 불확정적인 측면에서 GDP의 계획과 통제를 적용하는 것이다.[3,4,5] 이 경우에 각각의 예측 시나리오는 발생가능성에 관한 공항수용률(Airport Acceptance Rate : AAR)의 데이터에 나타난다. GDP계획은 대체가능결과가 발생할 수 있는 수용량 시나리오에서 분리되어 개발되어졌다. 많은 연구에도 불구하고 시나리오를 정의하고 가능성을 예측하는데 어려움이 따르기 때문에 이 접근방법은 실제적으로 적용하는데 제약을 받고 있다. 이런 방향으로 가능성 있는 연구는 운영 시스템을 목표[7]로 하는 최근의 연구로 SFO 공항에서 실시[6]하고 있다.

마지막으로 환경에 적용할 수 있는 의사결정 방법이 있다. 거의 모든 의사결정은 환경의 변화에 동적으로 적용하는 방향으로 결정된다. 예를 들면 GDP 계획이 있는 동안에 기상이 GDP를 지속되게 하거나 기대치 않게 좋아진다면 GDP는 연장되거나 GDP는 취소된다. 이는 효율적인 항로에서 악기상주위로 수정된 항로를 갖는 항공기는 악기상이 없어졌다면 다시 원래의 항로로 변경될 수 있는 것과 같다. ATFM 계획에서 해결해야 할 과제는 조건의 변화로써 이득을 주는 가능성은 최대화하고 손실이 되는 조건은 최소화 될 수 있게 예측하는 것이다. 연구의 중심은 앞에서 설명된 동적인 계획을 세우는 것이다. 참고문헌[8]에서 GDP 계획의 접근방법은 AAR 시나리오를 만들고 미래 AAR 시나리오의 가능성의 범위를 알아내는 것 뿐 아니라, AAR 변화의 타이밍과 AAR이 알려지기 시작한 정보를 알아내는 것이다. 그러나 이는 매우 가능성이 있는 접근방법이지만 많은 데이터의 요구조건이 따른다는 제약이 있다.

본 논문에서는 다른 등급의 동적 ATFM 메커니즘을 분석하고 설명할 것이다. 신속대응 동적 메커니즘은 변화조건의 범위 내에서 대응해낼 수 있을 것이고 또한 매우 신속하게 할 것이다. 이런 메커니즘의 기본예제로써 SCS를 이용하였다. 이런 접근방법은 미래의 가능성이나 사건을 정확하게 예측할 필요조차 없게 해준다. 대신에

융통성과 적용성 있는 사용자가 알게 되었을 때 미래의 사건의 넓은 범위에 적용할 수 있다.

### 3. 슬롯 교환 메커니즘

#### 가. 압축 방법(Compression Concept)

본 논문에서 살펴보게 될 많은 대응의 메커니즘은 교통담당자로부터 지시된 지상지연행동의 상황에서 나타난다. GDP는 하나의 공항에서 공중지연 예측을 대체하기 위한 여러 공항에 대한 지상지연과 같이 하는 새로운 교통관리프로그램이다. 같은 도착공항으로 향하는 항공기는 예상된 수용 한계를 초과하지 않는 도착공항의 도착 가능성을 보장할 수 있도록 충분한 슬롯을 확보하고 있어야 한다. GDP는 넓은 기간 동안에 예상된 공항의 수용량을 초과할 수 있는 수요예측에 관한 방법이다. GDP는 항공교통관제본부에 의하여 계획되고 통제된다.

GDP가 수립되면 실제도착슬롯의 순서는 수용량의 비율로 만들어진다. 예를 들면 GDP공항의 시간당 수용량이 30대라고 하면 30개의 슬롯이 2분 간격으로 만들어 진다. 항공기들은 앞서 계획된 항공기가 먼저 서비스를 받게 되는 (first-schedule, first-served) 자원분배알고리즘의 원칙으로 할당되어 진다.[9,10,11]

압축방법으로 알려진 메커니즘은 정시에 먼저 온 항공기를 취소되거나 지연된 항공기로 생긴 빈 슬롯으로 이동시키는 효율적인 시스템이다. 또한 압축방법은 계획된 도착의 흐름을 원활하게 하고 전체적인 지연을 줄이기 위하여 GDP가 시행되는 기간에 언제든지 시행될 수 있다.

압축방법의 중요한 특징은 도착시간이 소멸되는 항공기를 보정하는 것이다. 특히 항공기가 압축이동으로 이익을 얻는 지연이나 취소 항공기에 직접적으로 연관되는 것은 아니다.

압축방법이 어떻게 시행되는지 살펴보자면 <표1>에서 도착항공기의 슬롯배치를 보여준다. 각각의 행은 항공기와 조정된 도착시간과 슬롯시간에 관련된 하나의 도착슬롯을 보여준다. A항공사의 0800 슬롯의 7번 항공기가 취소되었다고 가정하면, 압축방법은 이후의 항공기(8,9,10,11) 중에 취소된 항공기를 대체할 A항공사의 항공기를 찾을 것이다. A항공사의 항공기는 11번 항공기만 있다. 그러나 이 항공기는 활주로 도착시간(Earliest Runway Time of Arrival : ERTA)이 슬롯시간보다 30분 늦기 때문에 대체가 불가능하다(ERTA는 보통 도착예정시간으로 사용한다). 따라서 알고리즘은 대체

가능한 가장 빠른 항공기로 대체한다. 지금의 경우에는 ERTA가 0800 슬롯과 가장 가까운 C항공사의 8번 항공기로 선택되었다. 7번과 8번 항공기가 서로의 도착슬롯을 교체하였다. 압축 알고리즘은 일대일 슬롯의 맞교환을 원칙으로 한다.

<표1> A항공사의 0800 슬롯의 공백

CTA	항공사	항공기	ERTA	지연(분)
0800	A	7	CNX	-
0810	C	8	0720	50
0820	B	9	0740	40
0830	C	10	0740	50
0840	A	11	0830	10

압축방법은 그 후에 다시 취소된 항공기가 차지하고 있는 새로 발생된 0810의 도착슬롯의 대체 항공기를 찾는다. 압축방법은 (9, 10, 11) 항공기 중에 대체 가능한 A항공사의 항공기를 찾는다. 하지만 11번 항공기는 ERTA 때문에 대체가 불가능하다. 그래서 0810 슬롯은 B항공사의 9번 항공기로 대체된다. 이런 처리방법으로 11번 항공기가 이동되고 7번 항공기의 슬롯이 채워질 때까지 슬롯의 교환은 계속된다. 최종 슬롯 배치는 <표2>와 같다. 취소된 항공편은 경쟁 항공사 B사와 C사의 항공기를 지나서 가장 밑으로 내려간다. 8, 9, 10번과 같이 항공기를 연결항공기(Bridging Flights)라고 하고 A항공사의 7, 11번 항공기를 대체항공기(Substitution Flights)라고 한다. 교환이 이루어진 모든 항공편은 하나의 업무(Transaction)로 취급된다.

<표2> 슬롯 교환 완료된 최종 슬롯 배치

CTA	항공사	항공기	ERTA	지연(분)
0800	C	8	0720	40
0810	B	9	0740	30
0820	C	10	0740	40
0830	A	11	0830	0
0840	A	7	CNX	-

A항공사는 취소 항공기로 10분의 지연시간을 절약하였다. B와 C항공사는 지연과 취소 항공기가 없었지만 각각 10분과 20분을 절약하였다.

시스템 전체적으로는 40분의 지연시간을 절약하였다.

압축방법은 비행스케줄모니터(FSM)로 제한되는데 지상지연모델링과 모니터링 소프트웨어는 FAA와 항공사에게 배포되어 있다. 압축의 동적인 사용으로 GDP전체의 지연은 눈에 띄게 감소되었다.

#### 나. 항공사내 슬롯 대체 방법(Airline Slot Substitution)

GDP가 시행되는 동안에 항공사는 자사의 항공기들 간에 일대일 슬롯교체를 할 수 있다. 자발적인 지연이나 취소된 항공기를 이익이 되는 특정한 항공기로 교체할 수 있다. 항공기의 교체로 항공사의 이득은 없는 듯 보일 수 있다. 하지만 항공사는 연결편의 조종사, 승무원 승객들에게 30분의 지연시간을 절약을 위하여 최종목적지 도착 항공기를 30분 지연(혹은 취소)할 수 있다.

앞에서 살펴 본 바와 같이 11번의 ERTA가 0800이거나 혹은 더 빨랐다면 A항공사는 7번과 11번의 도착슬롯을 경쟁사의 항공기를 포함하지 않고 직접적으로 대체할 수 있었을 것이다. 실시간 스케줄 조작이 없다면 GDP에 의한 지연은 항공사에게 몇 시간, 심하면 며칠 동안 계속적으로 영향을 미칠 것이다. 항공사 내에서 일방적인 취소와 대체의 처리는 당국이나 다른 항공사에게 통보하지 않아도 되며 GDP를 시행하는 동안 자원관리에서 선택권을 먼저 갖게 된다.

#### 다. 협력사간 슬롯 대체 방법(Slot Credit Substitution)

한 항공사가 다른 항공기보다 이전의 항공기를 지연하거나 취소하는 상황이 있을 수 있다. 하지만 두 항공기 사이의 시간차가 커서 위에서 설명한 일방적인 조정행위를 통한 빈 슬롯을 대체할 수 없다. 두 항공사 간에 GDP 도착슬롯의 직접적인 교환을 실시할 수 있는 메커니즘이 존재하지 않기 때문에 항공사는 현재의 상태나 이전 항공편의 취소 처리 상황을 받아서 항공사의 임계항공편을 압축방법에 사용하여 도착 순서에 맞게 조정하여야 한다.

문제는, 항공사는 다음 압축방법이 또 언제 발생할지 절대 알 수 없다는 것이다. 압축방법은 당국의 교통 관리자의 판단에 의하여 전체적으로 실행되고 매30분마다 실시되는 것이 원칙이지만 교통 관리자는 모든 도착 슬롯이 할당된 후에 '팝업' 항공기의 요구로 인하여 스트레스

받고 있는 공항의 요구에 따라 임시적으로 실시하는 경우가 있다. 요구 예측의 부족은 예측하지 못한 압축 시행의 주기를 야기한다.[12]

항공사에서 구성되는 항공기의 지연과 추소는 일정한 기간동안에 시스템적 요구를 줄일수 있는 유일한 방법을 실행하는 것으로 CDM의회는 SCS로 알려진 절차를 수립하였다. 압축방법 하에서 슬롯의 맞교환보다는 빠른 시간에 슬롯이 늦은 시간의 슬롯과 교환이 항공사는 더 효과적이고 연결항공편(Bridging flights)의 수가 업무(Transaction)로써 나타난다. 그러나 SCS에서 슬롯의 손실은 순전히 조건적이다. 항공편의 아래쪽으로는 이동은 항공사가 원하는 시간과 비교하여 결정되어진 것이다. SCS의 목적을 갖는 항공사는 위약금이 없다. 더욱이 SCS의 반응은 거의 실시간으로 이루어진다. SCS의 조건이 세계와 신속대응은 미리 처리된 실행보다는 교환의 추가사항을 갖게 하여 더 많은 이익을 만들 수 있는 기회를 준다.

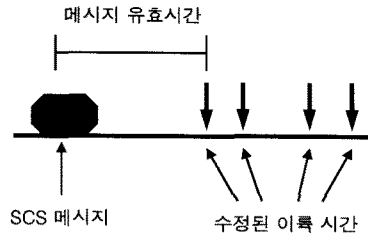
#### 4. 신속대응 비동기식 메커니즘과 주기적 일괄처리방법 비교

지금까지 본 연구에서는 항공사슬롯교체요청으로 SCS와 압축방법에 대하여 살펴보았다. SCS는 즉각적인 피드백을 제공하였고 압축은 본부에서 지정한 매우 짧은 시간적 주기로 일괄처리를 하였다. 이번 장에서는 비교가능한 일반적인 모델을 제시한다. [모델1]은 SCS로 대표되는 신속대응 비동기식 처리방법과 [모델2]는 압축으로 나타나는 주기적 일괄처리방법이다. 본 모델에서는 SCS의 분석적인 조건은 무시한다. 두 모델에서 서로의 성능의 정확성을 찾아내는 것이 아니라 두 모델의 차이점을 찾아내는 것으로 본 연구에서는 항공기가 일반적으로 압축을 사용하면서 SCS를 실시할 수 있는 중요한 비교점에 대하여 알아보려 한다.

일반적인 모델에서 슬롯교환의 요청은 어느 예측하지 못한 시간에 발생한다. 각 요청들은 시스템적 대응과 시스템 성능 전체적인 영향을 미치는 대응의 특성으로 요구된다. [모델1]은 요청이 발생 하였을 때 각 요청에 실시간에 가까운 대응을 제공한다. [모델2]는 압축처리 방법이 실행되고 있을 때 각 요청을 일괄적으로 수집하고 모든 요청을 주기적으로 처리한다.

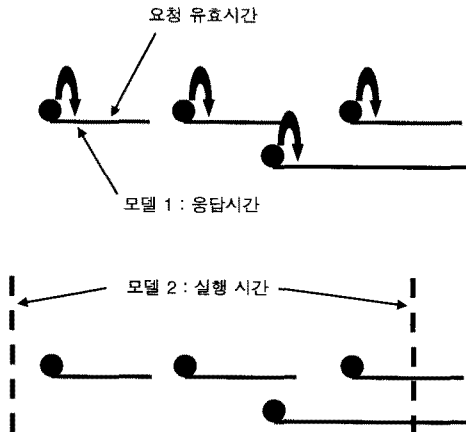
각각의 요청은 유효시간이 있어서 유효 시간 안에 대응의 결과가 이루어지지 않으면 신호는 사라진다. SCS에서 예를 들면 SCS 메시지는 항공

기들 중에서 도착슬롯의 교환이 이루어짐으로써 결과가 나타난다. 도착슬롯의 교환은 출발시간을 조정함에 따라 가능하다. 가장 먼저 수정된 출발예정시간은 슬롯교환요청이 발생하면 그 효력을 잃는다. 단 적당한 도착슬롯에 맞추기 위해서는 수정된 출발시간에 항공기는 출발하여야 한다. 효력을 잃는 시간과 발생시간의 차이가 SCS 슬롯교환 요청의 유효기간이다.



<그림1> SCS 메시지의 유효시간

[모델2]는 주기적인 간격으로 실행되기 때문에 [모델1]에서 처리된 모든 요청에 대하여 [모델2]에서는 처리할 수 없다. [모델2]가 실행되는 간격 사이에 요청의 유효시간이 만료될 수 있기 때문이다.



<그림2> [모델2] 에서 대응되지 못한 요청

[모델1]의 장점은 [모델2]가 다음 실행시간 사이에 몇몇 요청의 유효시간이 만료되어 실행되어 질 수 없는 것을 방지하는 것이다.

[모델2]가 실행되는 각각의 주기적인 간격 사이에 요청들은 일괄적으로 수집된다. 이것은 요청의 세트로 볼 수 있고 기능적인 실행에서 이륙을 가능하게 해준다.

[모델2]의 장점은 요청의 세트에 관련된 자원

배분의 문제를 최적화 할 수 있게 하는 것이다.

각 압축의 실행은 교환요청의 세트로 이루어지고 슬롯교환 세트의 전체적인 방법으로 최적화한다. 그러나 형식적인 최적화 실행 방법은 존재하지 않고 압축의 실행에서 SCS의 업무의 순차적인 실행방법과 다른 특별한 방법은 없다. SCS메시지로 발생한 빈 슬롯을 SCS 업무의 실행의 경우에서 압축의 실행과 같은 결과를 발생한다는 것을 증명할 방법은 없다. 그러나 각각의 빈 슬롯의 처리방법과 자세한 내용을 포함하는 차이점의 관계성은 매우 적다. 몇몇의 관계성 있는 분석은 참고도서[10]에 잘 나타나 있다.

### 5. 요약

본 연구에서는 AFTM이 필요한 이유를 항공기의 불확실성을 들어서 설명하였다. 불확실성의 원인으로 수요, 수용량의 불확실성과 ATFM의 조정행동과 타이밍조정을 위한 불확실성에 근거하여 알아보았다. 이와 같은 불확실성을 줄이기 위한 방법으로는 정보 질의 향상과 다양한 가능성에 대한 문제를 예측하여 최적화하는 방법으로 해결할 수 있다.

슬롯교환메커니즘에서 가장 기본적인 알고리즘으로는 압축방법에 대하여 살펴보았고 항공사 내에서 처리할 수 있는 항공사 슬롯 대체알고리즘을 설명하였다. 그러나 한 항공사에서 대체할 수 없는 경우에는 다른 항공사에서 대체 항공편을 제공하는 메커니즘에 대하여 알아보았다. 이어서 압축방법의 기본이론인 일괄처리방법과 SCS의 신속대응메커니즘의 차이점과 장단점을 살펴보았다.

이어진 연구과제로 두 모델의 수학적 모델을 연구하여 그 특성을 파악하여 모델을 개발하여 시뮬레이션 하는 것이다. 더 나아가서는 메커니즘의 모범 예제라 할 수 있는 SCS에서 실제적으로 어떻게 적용되고 있는지 사례에 대하여 연구하려 한다.

### 참 고 문 헌

[1] Beatty, R. (2004) Measuring uncertainty: a core problem for TFM, NEXTOR Performance Metrics, Performance Organization and Air Transport Workshop, January, 2004, Asilomar, California  
 [2] Ball, M.O., R. L. Hoffman, D. Knorr, J. Wetherly and M. Wambsganss, 2000,

- Assessing the benefits of collaborative decision making in air traffic management, in Proceedings of 3rd USA/Europe 'Air Traffic Management R&D Seminar, Naples, June, 2000.
- [3] Richetta, O. and A. Odoni, 1993, Solving optimally the static ground-holding policy problem in air traffic control. *Trans. Sci.* 27, 228-238.
- [4] Ball, M.O., Hoffman, R., Odoni, A. and Rifkin, R., 2003, A stochastic integer program with dual network structure and its application to the ground-holding problem, *Ops. Res.* 51, 167 . 171.
- [5] Willemain, T.R., 2002, Contingencies and cancellations in ground delay programs. *Air Traffic Control Quarterly* 10, 43-64.
- [6] Inniss, T. and M. O. Ball, 2002, Estimating one-parameter airport arrival capacity distributions for air traffic flow management. *Air Traffic Control Quarterly*, 12, 223-252.
- [7] Wilson, F.W., 2004, A stochastic air traffic management model that incorporates probabilistic forecasts. to appear in Proceedings of 20th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology.
- [8] Mukherjee, A and M. Hansen, 2004, Dynamic stochastic model for single airport ground holding problem, submitted for publication.
- [9] Ball, M., R. Hoffman and T. Vossen. 2002, An analysis of resource rationing methods for CDM, ATM-2002, Capri, Italy.
- [10] Vossen, T. and Ball, M.O., 2003, "Optimization and Mediated Bartering Models for Ground Delay Programs", submitted for publication, available at <http://bmgt1-notes.umd.edu/faculty/km/papers.nsf>.
- [11] Wambsganss, M., 1996, Collaborative decision making through dynamic information transfer, *Air Traffic Control Quarterly*, 4, 107-123.
- [12] Ball, M.O., Vossen, T. and Hoffman, R., 2001, Analysis of demand uncertainty in ground delay programs, in Proceedings of 4th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, 2001.
- [13] Howard, K. 2002, ETMS/ATMS system requirements: slot credit substitutions (SCS) version 1.2, the John A. Volpe Res. Ctr., Cambridge, MA.
- [14] Metron Aviation, CDM Web Site: <http://www.metronaviation.com/cdm/index.html>