

능동적 공역확보를 위한 다변측정 감시시스템용 질문기

An Interrogator for Active Acquisition of Airspace in Active Multilateration

고영목* · 김용학 · 김수홍
(주)우리별

Young-Mok Koh* · Yong-Hak Kim · Su-Hong Kim

Wooribyul Co. Ltd., 89, Hwanggeum 1-Ro, Yangchon-eup, Gyeonggi-do, 10048, Korea

[요 약]

본 논문은 항공용 다변측정 감시시스템의 감시영역으로 진입하는 항공기에 대해 능동적 공역확보를 위한 질문시나리오 구성이 가능한 질문기에 대한 것이다. 항공용 다변측정 감시시스템에서 질문기는 감시공역 내의 항공기를 향해 적절한 감시 시나리오로 질문을 수행하는데 사용하는 중요한 장치이다. 일정 반경 내에서 비행하는 항공기에 대해 질문하는 기존의 2차 감시레이다(SSR; secondary surveillance radar)의 질문 방식과 달리, 항공용 다변측정 감시시스템은 감시범위에 진입하는 항공기에 대해 원거리에서부터 근거리까지 순차적으로 또는 운용 시나리오에 따라 능동적으로 질문이 가능한 질문 시스템이 필요하다. 본 논문을 통해 구현된 질문기는 위스퍼-샤웃 제어 알고리즘을 적용하여 실제 운용거리에 따라 출력전력을 가변하여 방사함으로써 감시공역 별 항공기에 대한 질문 및 감시에 능동적으로 활용이 가능하다.

[Abstract]

This paper is concerned with an interrogator capable of constructing a interrogation scenario for acquiring active airspace to the intruding aircraft into the surveillance area of the MLAT system. In the MLAT system, the interrogator is an important device used to carry out the interrogation towards the aircraft within the surveillance airspace in the appropriate surveillance scenario. Unlike a conventional SSR's interrogation methods that interrogate for airplanes flying within a certain range, the MLAT system requires a interrogation system that can actively interrogate from remote to near range, or according to operational scenarios, for aircraft intruding into the surveillance range. The interrogator implemented in this paper can be used for interrogating and monitoring aircraft within each surveillance airspace using whisper-shout algorithm according to varying output power based on the actual operation distance.

Key word : Interrogator, Whisper-shout, Multilateration, Secondary surveillance radar.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.2.179>



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 15 March 2017; Revised 30 March 2017

Accepted (Publication) 24 April 2017 (30 April 2017)

*Corresponding Author; Young-Mok Koh

Tel: +82-10-4388-5611

E-mail: juliusko@wooribyul.co.kr

I. 서론

항공용 다변측정 감시 (MLAT: multilateration)시스템은 공항 등에 설치되는 항행안전무선시설로, MLAT 시스템의 질문기에서 Mode A/C, Mode S 등의 신호를 이용하여 항공기 등의 이동체에 무선으로 질문하고, 이동체에 탑재된 트랜스폰더 (transponder)가 Mode A/C 신호, Mode S 신호 또는 확장 스킨터 (extended squitter) 신호의 형태로 무선으로 응답하면 지상에 설치된 4 대 이상의 MLAT 시스템의 수신기가 항공기 응답신호의 도착시간 (TOA; time of arrival)을 나노초 (nano second) 단위로 측정하여 이동체 위치를 나타내는 물론, 수신된 응답신호로부터 항공기 ID(identity)를 포함한 추가 정보를 이용하여 항공기를 정밀하게 파악할 수 있는 항공교통감시용 시스템이다 [1]-[5].

MLAT 시스템의 질문기는 모든 항공기에 대하여 공통으로 질문을 수행하는 Mode A/C 질문과, 개별질문이 가능한 Mode S 질문을 수행한다. 이 경우 관제소에서 감시영역으로 진입하는 항공기에 대해 감시영역, 표적형태, 비행단계 등을 고려하여 적절하게 통제되지 않을 경우 MLAT 시스템의 수신기에서는 복수의 Mode A/C 응답신호 또는 복수의 Mode S 응답신호의 중첩된 수신으로 인해 응답신호를 적절히 디코딩 할 수 없게 되어, 항공기 위치파악을 어렵게 하는 문제가 발생하므로 인해 항공기간 충돌가능성을 피할 수 없게 된다[6],[7].

따라서 감시공역 (surveillance air-space)을 일정 영역으로 나누어 해당 공역에 진입하는 항공기에 대해 일정 주기로 응답신호를 유도한다면, 이 응답신호를 이용하여 항공기의 위치 추적 뿐만 아니라 충돌 가능성을 크게 경감시킬 수 있다.

본 논문에서는 MLAT 시스템의 감시공역으로 진입하는 항공기에 대해 감시공역별로 능동적인 질문을 함으로써 트래픽을 제어하여 항공기간 충돌 가능성을 감소시키고 진입하는 항공기에 대해 능동적 공역확보를 위한 질문을 수행하는 질문기에 대한 것이다. 기존의 2차 감시 레이더 (SSR; secondary surveillance radar)가 항공기 탑재 트랜스폰더에 질문을 수행할 경우, 일정 반경 내에서 비행하는 항공기에 대해 한정된 거리에서만 질문하는 방식과 달리, MLAT 시스템의 감시범위에 진입하는 항공기에 대해 원거리에서부터 근거리까지 순차적으로 또는 운용 시나리오에 따라 능동적으로 질문이 가능한 질문기를 구현을 하였다. 구현된 질문기는 위스퍼-샤웃 (whisper-shout) 알고리즘을 적용하여 실제 운용거리에 따라 송신출력전력을 가변시켜 방사함으로써 감시공역 별 질문이 가능하게 되어, 항공기 감시를 위해 능동적으로 활용이 가능하다.

II. 항공기 다변측정 감시시스템

그림 1은 MLAT 시스템 운용개념도로, 우측의 작은 상자에서

TIS-B (traffic information service - broadcast)와 ARTS (automated radar terminal system) 및 A-SMGCS (advanced surface movement guidance and control system)는 공항관제시스템이며, 좌측 상자 내부는 질문기 (ITX; interrogating transmitter), 수신기 (RU; receiver unit), 기준감시트랜스폰더 (RMT; reference and monitoring transponder), 중앙처리장치 (CPS; central processing system), 통제감시장치 (CMS; control and monitoring system), 외부연동 장치 (EIU; external interface unit)로 구성된 MLAT 시스템이다.

그림 1의 MLAT 시스템의 질문기(ITX)가 항공기 탑재 트랜스폰더로부터 응답신호를 유도하기 위해 2차 감시레이더(SSR)와 동일한 Mode A/C 질문신호와 Mode S 질문신호를 항공기를 향해 송신하면, 항공기 탑재 트랜스폰더는 Mode A/C 및 Mode S 신호를 응답하게 된다.

지상에 설치된 동일한 구조의 4 대 이상의 수신기(RU)의 안테나에 도달된 각각의 응답신호의 도착시간 (TOA; time of arrival)을 타임태깅 (time tagging)하여 중앙처리장치(CPS)에 전송하고, 중앙처리장치(CPS)는 다수의 수신기(RU)에서 전달 받은 TOA 데이터를 이용하여 응답신호의 도달시간차(TDOA: time difference of arrival)를 계산함으로써 개별 항공기의 위치 및 추적 데이터를 연산처리 한다.

통제감시장치(CMS)는 중앙처리장치(CPS)에서 처리된 항공기 추적 데이터를 이용하여 항공기의 항적과 측위 결과의 현시(display) 그리고 GUI (graphic user interface)를 이용하여 질문기(ITX, 수신기(RU) 등의 각 서브시스템을 감시 및 통제하며, 외부연동장치(EIU)는 중앙처리장치(CPS)에서 계산된 항적정보와 측위결과 등을 외부 사용자인 공항관제시스템에 전송하는 역할을 한다[1]-[5].

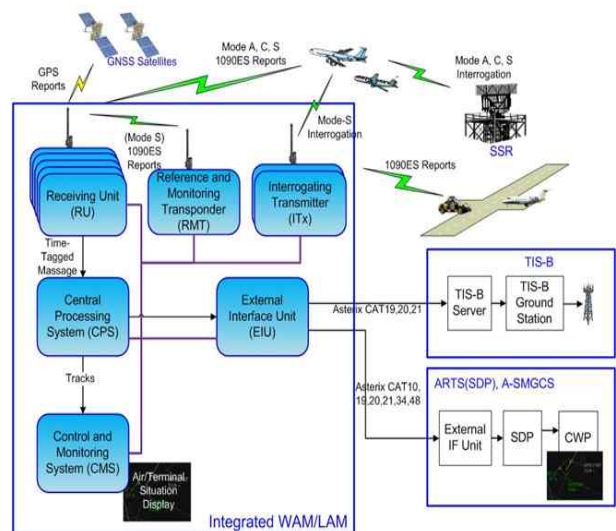


그림 1. 항공용 다변측정 감시시스템 운용개념도
 Fig. 1. Concept of operation configuration in the multilateration systems.

III. 감시공역 정밀감시제어를 위한 질문기

3-1 항공기 감시제어를 위한 질문 및 응답신호 특성

MLAT 시스템은 감시공역에 존재하는 Mode A/C 및 Mode S 트랜스폰더를 탑재한 항공기를 검출하기 위한 질문신호송신 기능을 가지며, 이때 사용하는 장치가 질문기이다. 질문기는 2차 감시레이다와 동일하게 항공기 주소와 질문을 등이 포함된 UF (uplink format) 데이터를 중앙처리장치로부터 전달받아 그림 2(a)의 Mode A/C 신호와 그림 2(b)의 Mode S 신호로 변환하고, 이들 각 신호를 펄스진폭변조 (PAM; pulse amplitude modulation)와 차분위상편이변조 (DPSK; differential phase shift keying)한 후, 1030 MHz의 무선신호로 고회력 송신한다[6]-[9].

질문기에서 송신하는 Mode A 와 Mode C 질문신호는 동일한 구조로, 각각 항공기의 식별정보와 기압고도 정보를 획득하기 위한 질문모드이며, Mode S는 항공기로부터 획득한 주소 정보를 이용하여 각 항공기에 개별적으로 질문하기 위한 질문모드이다. 일반적으로 Mode A/C 트랜스폰더는 선택적 주소 지정 기능이 없다. 질문기가 Mode A/C 트랜스폰더에 초당 1회 Mode C 전용 all-call (Mode C only all-call) 메시지로 질문하면, Mode C 전용 all-call 질문을 수신하는 모든 Mode A/C 트랜스폰더가 응답하는데, Mode C 트랜스폰더는 항공기의 고도 데이터를 반영하여 Mode C 응답신호를 발생하고 Mode A 트랜스폰더는 고도 펄드에 데이터 없이 Mode A 응답신호를 발생한다. 질문기에서 송신된 Mode A/C 및 Mode S 의 각 질문신호에 대해 항공기 탑재 트랜스폰더는 그림 3과 같은 구조의 Mode A/C 및 Mode S 응답신호를 발생하여 무지향성 안테나를 통해 1090 MHz 주파수로 송신한다.

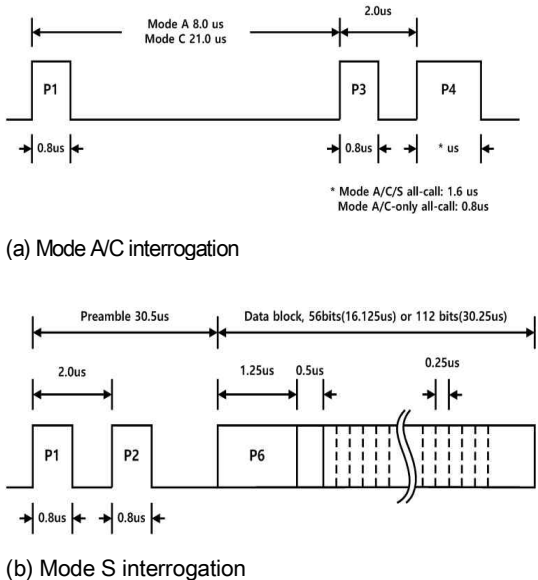
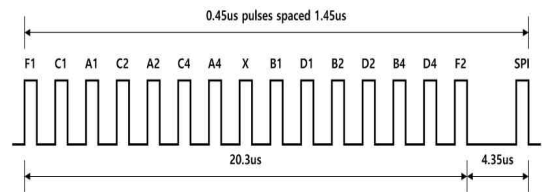
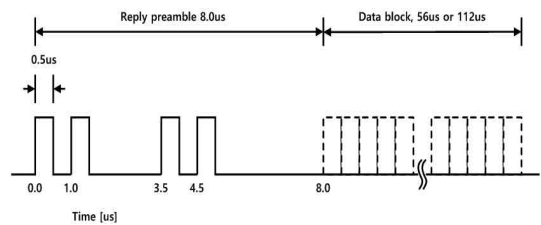


그림 2. 질문기(또는 2차 감시레이다)의 질문신호
Fig. 2. Interrogation signals of the interrogator(or SSR).

Mode S 응답신호의 경우, MLAT 시스템이 획득한 항공기 주소 정보를 이용하여 질문기가 각 항공기에 대해 선택적 질문을 하여 통제할 수 있으나, Mode A/C 트랜스폰더는 선택적 주소 지정 기능이 없어, 질문기에서 송신된 Mode A/C 질문신호에 무조건 응답을 하게 된다. 이러한 Mode A/C 트랜스폰더 응답은 2차 감시 레이더 수신섹션 또는 MLAT 시스템의 수신기에서 중첩 수신되는데, 신호 중첩현상은 다수의 항공기가 이착륙하는 터미널뿐만 아니라 항공기가 비행하는 항로에서도 발생할 수 있다. 그림 4는 ㈜우리별 옥상에 설치한 MLAT 시스템 수신기에서 2초 동안 수신된 항공기 응답신호로, Mode A/C 응답신호가 5개 이상, Long Mode S와 Short Mode S 응답신호가 각각 2개 이상, 그리고 인천국제공항과 김포국제공항에서 멀리 떨어져 있음에도 거리측정장치 (DME; distance measuring equipment)에서 방사된 신호가 수신되고 있음을 알 수 있다.



(a) responded Mode A/C signal from transponder



(b) responded Mode S signal from transponder

그림 3. 항공기 탑재 트랜스폰더 응답 신호
Fig. 3. responded signals from transponder.

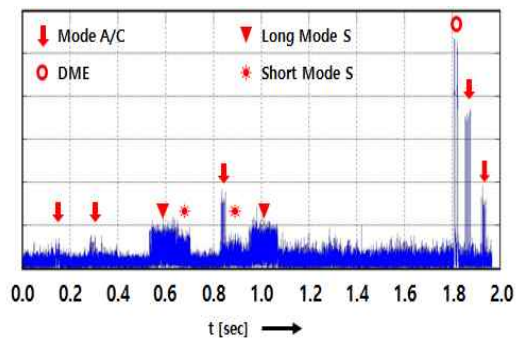


그림 4. MLAT에서 2초 범위에서 수신한 항공기 응답신호
Fig. 4. Received responded signals at MLAT within 2.0 seconds.

공항관제시스템의 경우 공역을 효율적으로 관리하기 위해서는, 2차 감시 레이더에서 적절한 질문 시퀀스를 통해, 다수의 항공기 응답신호 수신으로 중첩되는 현상을 최소화함으로써 2차 감시레이더에서 수신된 데이터의 처리량을 줄이도록 질문을 스케줄 해야 한다. 이러한 질문신호가 적절하게 통제되지 않으면 2차 감시 레이더 수신섹션에 복수의 신호가 중첩되어 신호 복조에 어려움이 따른다. 일반적으로 적절한 항공기 밀도를 갖는 공항 터미널이나 항로에서, 항공기로 부터의 응답신호가 10개 이상 중첩되어 수신되는 현상이 2차 감시 레이더나 MLAT 시스템에서 발생할 수 있다[9].

그림 3에서 항공기 탑재 트랜스폰더의 모드 A/C 응답신호는 길이는 약 $21 \mu s$ 이고, 이는 약 1.7 nm 의 거리에 해당하므로, 질문기로부터 1.7 nm 범위 내에 있는 Mode A/C 트랜스폰더가 장착된 항공기는 그림 5와 같이 서로 겹치게 응답신호를 발생하게 된다. 이러한 중첩된 Mode A/C 응답을 동기 가블 (synchronous garble) 이라 한다[3],[8],[9].

3-2 동기가블 제어

MLAT 시스템의 경우, 항공관제 안전과 신뢰성을 갖고 항공기를 검출하기 위해, 감시영역에 진입하는 항공기를 일정 순서나 우선순위에 따라 Mode A/C 질문을 시작하고 Mode S 개별질문을 수행하는 질문제어 방식을 제공하여야 한다. 즉, 감시 항공기에 대하여, Mode A/C 질문을 수행하고 각 질문에 응답하는 항공기 응답횟수를 통제하기 위한 질문 시나리오를 구현하여 높은 항공기 트래픽 밀도에서 동기가블 수신 현상을 최소화하도록 하여야 하는데, 이때 사용되는 방법이 위스퍼-샤웃 (whisper-shout)이다. 위스퍼-샤웃은 기존의 항공기 충돌방지시스템 (ACAS: airborne collision avoidance system)와 공중충돌방지시스템 (TCAS: traffic alert and collision avoidance system)에서 사용되는 질문방식으로 감시공역 내의 항공기에 질문을 수행함으로써 단일 질문에 응답하는 트랜스폰더의 수를 줄이기 위한 가변전력 질문 시퀀스이다 [3],[10],[11].

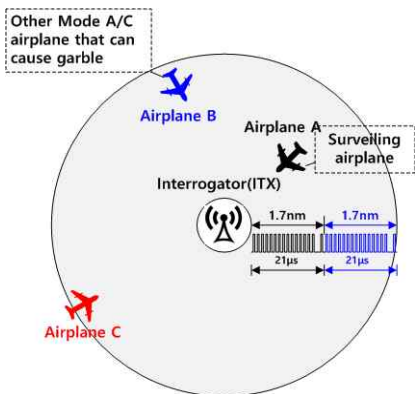


그림 5. 동기가블 영역
Fig. 5. Synchronous garble area.

위스퍼-샤웃 질문은 각각의 감시공역에 진입하는 항공기를 검출할 수 있는 질문기의 질문 커버리지 (WS 커버리지; whisper-shout coverage)에서, 역압펄스 S1과 질문펄스 P1, P3 및 P4로 구성된 신호를 송신함으로써 각 감시공역에 진입하는 항공기에 대해 WS 커버리지를 제어하여 항공기 응답을 제어한다[12]-[14]. 첫 번째 단계 위스퍼-샤웃 질문에서 근접 항공기를 향해 낮은 전력의 질문신호 P1, P3, P4를 송신하고, 점진적으로 송신전력을 증가시키면서 두 번째 단계 위스퍼-샤웃 질문에서는, 질문펄스 P1, P3, P4보다 약간 낮은 레벨로 역제 펄스가 $2 \mu s$ 먼저 송신되고 그 다음 첫 번째 단계 위스퍼-샤웃 질문보다 약간 레벨이 높은 질문펄스 P1, P3, P4가 송신된다.

그림 6은 위스퍼 샤웃 질문을 통해 그림 5의 감시공역 내의 항공기 A와 B의 응답을 나타낸 것이다. 질문기에 접근한 항공기 A, B에 대해 그림 6 좌측의 위스퍼-샤웃 질문을 수행하면 관제영역에서 가장 가까운 항공기 A가 먼저 응답을 하고, 그 다음 우측의 위스퍼-샤웃 질문을 수행하면, 좌측의 위스퍼-샤웃 질문에 응답한 항공기 A는 억제되고 이 질문에 응답하지 않은 항공기 B가 응답을 함으로서 좌측의 위스퍼-샤웃 질문에 대한 응답신호와의 가블링(중첩) 가능성을 줄이게 된다.

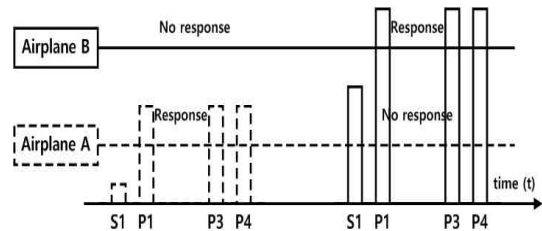


그림 6. 위스퍼 샤웃 응답
Fig. 6. Transponders responses against whisper shout interrogation of the interrogator.

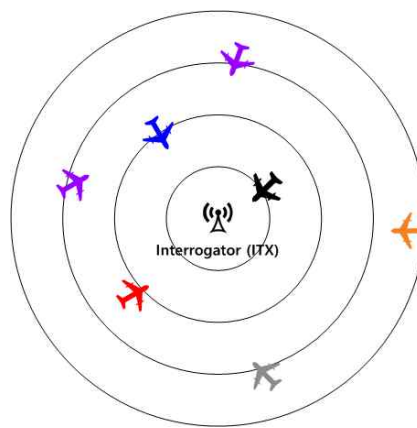


그림 7. 감시공역 별 진입 항공기
Fig. 7. Layout of the intruder airplane for each surveillance airspace.

3-3 위스퍼-샤웃 질문 시나리오

그림 7은 감시공역 별 진입항공기를 도식적으로 표현한 것이다. 각 감시공역 별 진입하는 항공기에 대한 위스퍼-샤웃 시나리오는 그림 8과 같다. 그림 8에서 가장 낮은 레벨의 질문전력을 제외하고, MLAT 감시공역 내의 항공기 트래픽 밀도에 따라 질문 신호 (P1, P3 및 P4 펄스)전력보다 억제 펄스 S1 (suppression pulse)전력을 약 2~3 dB에서 10 dB 이하로 낮게 송신함으로써 감시영역내의 모든 항공기가 응답할 수 있도록 순차적으로 질문을 수행할 수 있게 구성되어 있음을 알 수 있다.

그림 9은 질문기에서 출력된 위스퍼 샤웃 질문신호이다. 질문기의 질문범위 (MLAT 감시반경)는 R = 40 km 로 가정하였으며, 질문기의 위스퍼 샤웃 질문주기는 100 ms 로 하였다. 그림 8의 위스퍼 샤웃 질문 시나리오에 따라 MLAT 시스템은 먼저 원거리에서 비행하는 항공기를 향해 그림 10 ~ 12의 위스퍼-샤웃 질문을 수행하여 항공기를 탐색한다.

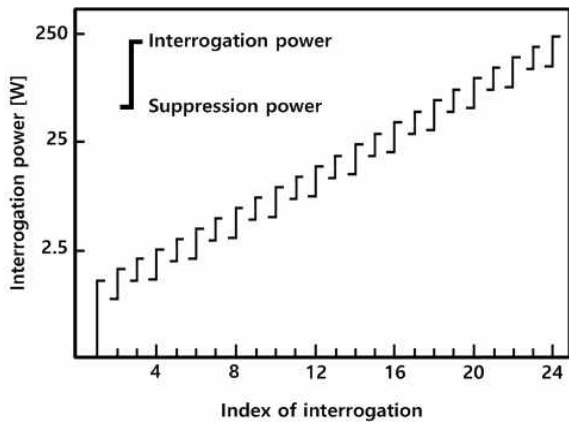


그림 8. 위스퍼-샤웃 질문 시나리오
Fig. 8. Whisper-shout interrogation scenario.

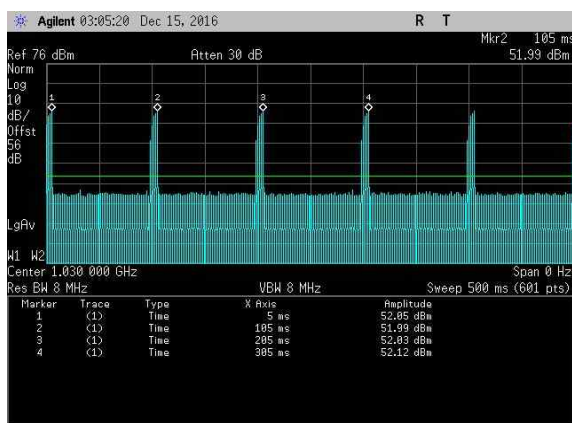
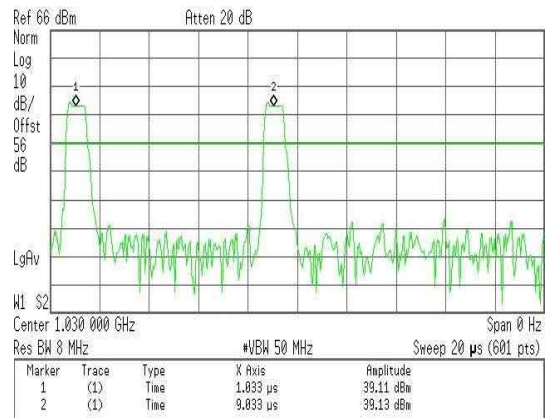
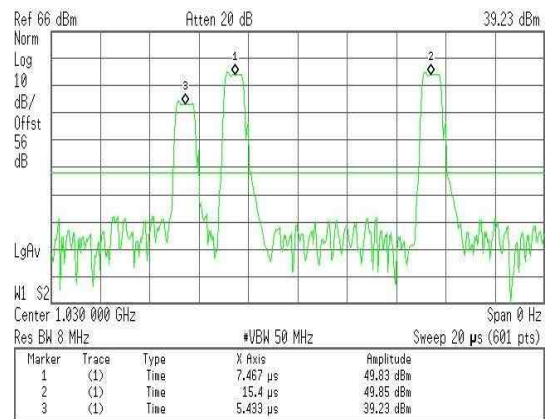


그림 9. 질문기 위스퍼-샤웃 질문: 질문주기 100 ms
Fig. 9. Whisper-shout interrogation output of interrogator: interrogation period 100 ms.

그림 10 (a)는 S1 신호가 억제된 상태에서 P3, P4 의 신호로만 질문을 수행한 것으로, 그림 10 (a)의 질문신호를 수신하는 감시반경 R=10 km 이내에서 비행하는 항공기는 모드 A/C 응답신호를 방송하게 된다. 그림 10(b)는 항공기가 MLAT 감시반경 R=10 km ~ 40 km 내에서 비행하고 있는 경우를 가정한 질문기의 위스퍼-샤웃 질문으로 억압펄스 S1과 질문펄스 P3, P4 로 구성되어 있다. 이 위스퍼-샤웃 질문을 수신하는 감시반경 R=10 km 이내에서 비행하는 항공기는 S1 신호를 확인하여 모드 A/C 응답을 억제하고 R=10 km ~ 40 km 범위 내에서 비행하는 항공기는 S1 신호를 확인하여 모드 A/C 응답을 한다. 이와 같이 질문기는 감시반경 R = 40 km 범위 내에서 비행하는 항공기의 응답신호를 통제한다.



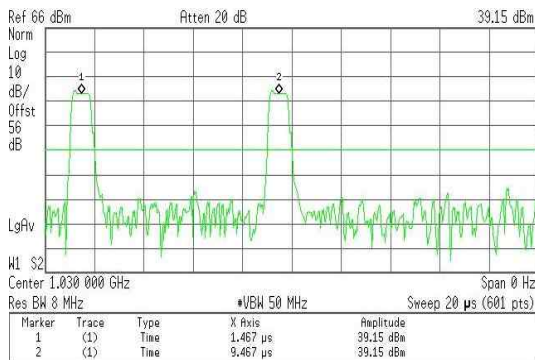
(a) Surveillance range R = 0 ~ 10 km,
S1 = 0 dBm, P3 = 39.11 dBm, P4 = 39.13 dBm



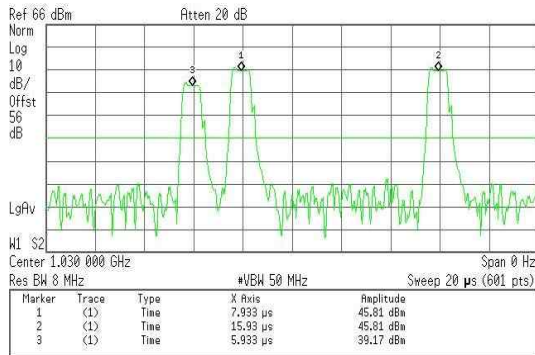
(b) Surveillance range R = 10 ~ 40 km,
S1 = 39.23 dBm, P3 = 49.83 dBm, P4 = 49.85 dBm

그림 10. 위스퍼 샤웃 질문: MLAT 감시반경 R = 40 km 내
Fig. 10. Whisper-shout interrogation when located of airplane within R = 40 km of MLAT surveillance range.

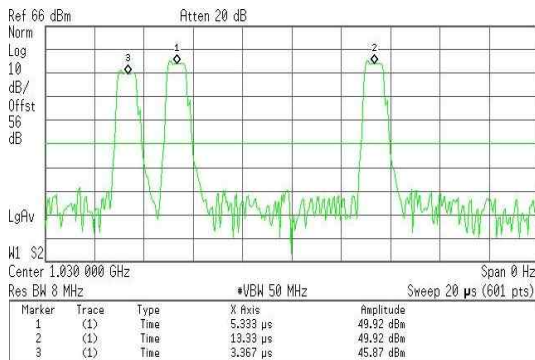
MLAT 시스템은 그림 10의 위스퍼-샤웃 시나리오에 따라 MLAT 감시반경 R = 40 km 내에서 비행하는 항공기를 탐색한 다음, 미 응답 항공기를 추가로 탐색하기 위해 질문구간을 좀 더 세분화하여 그림 11과 같이 질문을 진행한다.



(a) Surveillance range R = 0 ~ 10 km,
S1 = 0 dBm, P3 = 39.15 dBm, P4 = 39.15 dBm



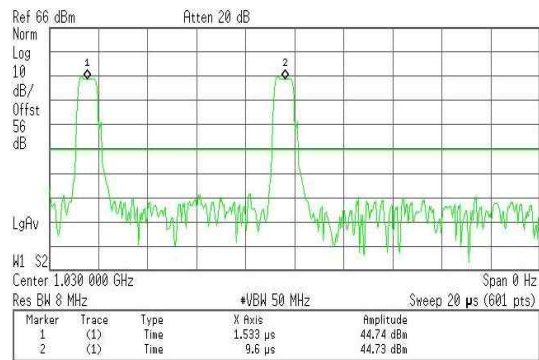
(b) Surveillance range R = 10 ~ 25 km,
S1 = 39.17 dBm, P3 = 45.81 dBm, P4 = 45.81 dBm



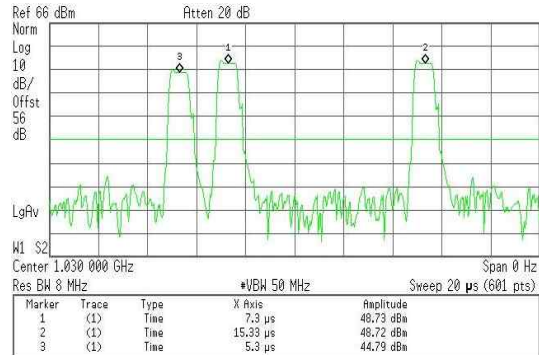
(c) Surveillance range R = 25 ~ 45 km,
S1 = 45.87 dBm, P3 = 49.92 dBm, P4 = 49.92 dBm

그림 11. 위스퍼-샤웃 질문: MLAT 감시반경 R = 45 km 이내
Fig. 11. Whisper-shout interrogation when located of airplane within R = 45 km of MLAT surveillance range.

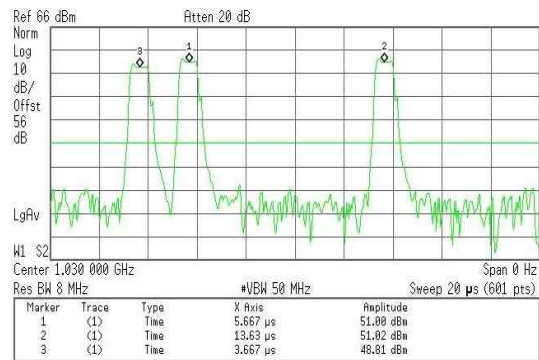
그림 12는 그림 11의 질문 시나리오에 따라 세분화하여 탐색하였음에도 미 응답한 항공기에 대해 추가적으로 탐색하기 위해 미 응답 항공기가 존재하는 구간이 예상되는 공역을 세분화하여 질문하기 위한 시나리오이다.



(a) Surveillance range R = 0 ~ 25 km,
S1 = 0 dBm, P3 = 44.74 dBm, P4 = 44.73 dBm



(b) Surveillance range R = 25 ~ 35 km,
S1 = 44.79 dBm, P3 = 48.73 dBm, P4 = 48.72 dBm



(c) Surveillance range R = 35 ~ 50 km,
S1 = 48.81 dBm, P3 = 51.0 dBm, P4 = 51.02 dBm

그림 12. 위스퍼-샤웃 질문: MLAT 감시반경 R = 50 km 이내
Fig. 12. Whisper-shout interrogation when located of airplane within R = 50 km of MLAT surveillance range.

그림 10 ~ 그림 12의 위스퍼-샤웃 질문 시나리오와 같이 MLAT 시스템은 감시반경 $R = 40 \text{ km}$ 범위 내에서 비행하는 항공기로 부터의 Mode A/C 응답신호를 순차적으로 통제함으로써 MLAT 시스템의 수신기 또는 2차 감시레이다 수신섹션에서 동기가블(중첩현상)을 최소화한다. 첫 번째 단계로 그림 10과 같이 전체 MLAT 감시범위에 대해 WS 커버리지를 10 dB로 개략적인 탐색을 수행하여 항공기로부터 응답을 유도하고, 두 번째 단계에서는 MLAT 감시범위에 대해 탐색구간을 보다 세분화하기 위해 WS 커버리지를 5 dB로 하여 미응답 항공기로부터 응답을 유도하고, 세 번째 단계에서는 WS 커버리지를 첫 번째 단계와 두 번째 단계에서 미 응답한 항공기가 존재하는 구간이 예상되는 공역을 탐색하여 모든 미 응답 항공기로부터 응답을 유도하기 위해 WS 커버리지를 3 dB로 하여 미응답 항공기에 질문을 수행한다. 이와 같은 위스퍼-샤웃 질문제어 방식은 선택적 질문이 어려운 Mode A/C 응답신호를 유도하는데 효율적이며, 이를 통해 항공기 충돌 가능성을 최소화시킬 수 있으며 감시공역의 효율적 관리가 가능하다.

IV. 결 론

MLAT 시스템은 4 대 이상의 수신기를 지상의 여러 위치에 설치하여 항공기로부터 응답신호의 도착시간 (TOA; time of arrival)을 나노초 단위로 측정하여 항공기 위치추적은 물론 수신된 응답신호로부터 항공기 ID를 포함한 정보를 이용하여 항공기를 정밀감시하기 위한 항공교통감시 시스템이다. 이러한 MLAT 시스템은 감시공역별로 진입하는 항공기에 대해 능동적 공역확보를 위한 질문이 이루어져야 한다.

본 논문에서 구현한 질문기는 MLAT 감시공역으로 진입하는 항공기 교통량(트래픽 밀도)에 따라 항공기 응답을 순차적으로 유도하기 위한 위스퍼-샤웃 질문을 통해 MLAT 시스템의 수신기에서 다수 신호의 중첩신호로 인한 동기가블 현상을 최소화하고 MLAT 감시공역 내로 진입하는 항공기에 대해 정밀추적을 할 수 있도록 함으로서 진입 항공기 간 이격 거리를 통제하여 충돌 가능성을 최소화할 수 있을 것으로 판단한다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부의 항공안전기술개발사업 “항공용 다변측정 감시시스템 개발” 과제의 지원에 의하여 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] CNS / ATM installation and technical standards, MOLIT, notice 2014-000, p382, 2014.
- [2] Y. M. Koh, and S. H. Kim, “Design of interrogator for airspace surveillance in multilateration systems,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 19, No. 2, pp.108-115, Apr. 2015.
- [3] M. Loren Wood, “Multilateration system development history and performance at Dallas/FT. Worth Airport,” in *IEEE Digital Avionics System Conferences, 2000. Proceedings*, Philadelphia: PA, Vol. 1, pp. 2E1/1-2E1/8, Oct. 2000.
- [4] Minimum aviation system performance specification for advanced surface movement guidance and control system (A-SMCGS), EUROCAE, ED-87A, Jan. 2001.
- [5] Minimum operational performance specification for mode S multilateration system for use in advanced surface movement guidance and control system (A-SMCGS), EUROCAE, ED-117, Nov. 2003.
- [6] G. Galati, and M. Leonardi, Super-resolution processor, receiver to discriminate superimposed secondary surveillance radar (SSR) replies and squitter, Patent US6819282B1, Nov. 16, 2004.
- [7] G. Galati, High precision surveillance system by means of multilateration of secondary surveillance radar (SSR) signals, Patent US20080231494A1, Sept. 25, 2009.
- [8] Minimum operational performance specification for secondary surveillance radar mode S transponders, EUROCAE, ED-73E, Mar. 2011.
- [9] Manual on the secondary surveillance radar (SSR) systems, ICAO, Doc 9684 AN/951, 3rd Ed. 2004.
- [10] Minimum operational performance standards for 1090 MHz extended squitter automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) and traffic information services-broadcast (TIS-B), RTCA, DO-260B, Dec. 2, 2009.
- [11] M. L. Wood, R. W. Bush: Multilateration on mode S and ATCRBS signals at atlanta's hartsfield airport, Lincoln Laboratory, Project Report ATC-260, Jan. 1998.
- [12] L. R. Motisher and G. T. Stayton, Surveillance system for aircraft, Patent EP0431449A2, Nov. 28, 1990.
- [13] M. D. Smith and L. A. Fajen, Systems and methods of providing whisper shout surveillance with a TCAS, Patent US20090212991A1, Aug. 27, 2009.
- [14] E. W. Needham and J. C. Blessing, Method and system for calibrating an antenna array for an aircraft surveillance system, Patent US7576686B2, Aug. 18, 2009.



고 영 목 (Young-Mok Koh)

2013년 8월 : 광운대학교 레이더 공학 (공학박사)
2014년 7월 ~ 현재 : (주) 우리별 수석연구원
※ 관심분야 : 레이더, 항공전자, 신호처리, 초고주파 시스템/회로 설계



김 용 학 (Yong-Hak, Kim)

1990년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2009년 1월 : 국방대학교 사업관리학 (사업관리학 석사)
2009년 12월 ~ 현재 : (주)우리별 공공팀장
※ 관심분야 : 레이더, 항공무선통신, 항행안전장비



김 수 홍 (Su-Hong Kim)

1986년 2월 : 한양대학교 전자공학 (공학사)
2000년 1월 ~ 현재 : (주)우리별 사업개발팀장
※ 관심분야 : 위성통신, 감시정찰장비, 무선통신장비