

위상변위기를 이용한 능동전자제어방식의 차량용 디지털 위성방송 시스템에 관한 연구

論 文
48A-7-12

A Study on the Vehicle Digital Broadcasting System of Active Electronic Control Method using Phase Shifter

金 祺 烈* · 李 相 鎬** · 朴 鍾 國***
(Ki-Yeoul Kim · Sang-Ho Lee · Chong-Kug Park)

Abstract - In this paper, it is proposed the phase shifter array active system to receive digital satellite broadcasting for vehicle. To receive satellite broadcasting data in vehicle, it is inevitable to have active antenna system, which traces the satellite in real time. Also if it is used in vehicle, it must be thin and light structure. To develop this type of antenna system, several techniques should be integrated properly. These are the design and manufacturing technique of high gain antenna, algorithm for tracking satellite and its manufacturing technique, controller design and manufacturing technique, system integration technique and so on. The validity of the proposed AVDBS system was confirmed by simulation and experimental results.

Key Words : AVDBS(Active Vehicle Digital Broadcasting System), phase shifter

1. 서 론

최근에는 통신-방송 복합 위성들이 발사되어 다양한 위성통신 및 방송 서비스가 가능하게 되었다. KBS의 위성방송 사업단에 의해 위성 1TV와 2TV, EBS 교육방송이 현재 무궁화 위성을 이용한 디지털 시험방송이 시행되고 있고 2000년 이전에 12채널의 위성방송이 계획되고 있다. 본격적인 위성 방송 시대가 열리고 있는 것이다. 이미 미국의 NASA, 유럽의 ACTS, 일본의 JPL 등의 선진국 연구소에서는 위성통신, 이동 통신, 차량단말 및 뉴미디어 서비스 분야의 핵심요소기술로서 소형단말 및 안테나 장치에 대한 연구 개발을 활발하게 추진해오고 있다.

위성방송 수신은 지금까지 주로 파라볼라형 안테나(일명 Dish 안테나)를 사용해 왔으나 부피가 크고 무거운 관계로 설치가 용이하지 않아 최근에는 소형 경량이고 설치가 용이한 마이크로스트립 평판 배열 안테나로 서서히 대체되고 있는 추세이다. 또한 차량에 설치되는 위성 수신용 안테나에는 불규칙적인 차체의 움직임에 대처하기 위하여 위성 추적 장치 및 빔 형성 장치의 설치가 필수적이다. 이러한 시스템은 차체에 미관을 고려하여 설치해야 하기 때문에 시스템 구현 외에도 제품의 경량 박형화가 동반되어야 한다 [1][2][3][4]. 이동체에 설치될 위성 방송 수신 시스템의 개발은 그 자체로 큰 의미가 있을 뿐 아니라 멀티미디어 네트워크

구축시 위성에서 제공하는 각종 정보 수신을 가능하게 할 것으로 예상되며 이러한 배경에서 위상 배열 안테나 시스템 구현에 대한 연구는 중요성을 갖는다.

본 시스템은 크게 위성 수신 안테나, 위성추적 알고리즘, 제어시스템으로 분류된다. 안테나 연구부분은 전자적 방식의 전방향 추적지향 안테나 시스템에 적용 가능한 위상변위기와 LNB 등의 소자를 결합한 마이크로 스트립 배열 안테나의 특성연구 및 전체 시스템에 적용할 설계기술을 제시한다. 위성추적 알고리즘은 위성신호 감지방법과 차량자세 제어 측정방법을 혼용하여 응답성 및 정확성을 고려한 방안을 제시한다. 제어시스템은 마이크로프로세서를 사용하여 입력되는 신호를 추적지향 알고리즘의 매개변수로 이용하여 위상변위기의 제어신호를 연산하여 출력하도록 설계하였다. 본 시스템은 주식회사 극동안테나의 무반향실과 시험기기를 이용한 시험결과들을 바탕으로 검증 및 검토하여 그 유효성을 확인하였다.

2. 위상 배열 안테나

안테나 추적 방식에는 크게 기계적 방식과 전자적 방식이 있으며 최근 각국에서는 전자적 추적 방식을 이용한 차량용 위성방송 수신용 안테나 시스템을 연구-개발중이다. 원형판과 마이크로스트립 안테나는 소형, 경량인 특성에 의하여 위상 배열 안테나, 이동체 안테나, 위성 안테나, DBS용 안테나 등에 널리 사용되어지고 있다. 마이크로스트립 안테나는 여러 가지 장점으로 인하여 많은 응용 분야에 적용되고 있다. 먼저, 방사면과 급전면에 대한 독립적인 최적 설계가 가능하며, 사용되는 유전 물질에 따라 많은 방사와 대역폭 증가, scan blindness를 broadside로부터 멀리 이동시킬 수 있기 때문에 위상 배열 안테나로도 응용이 가능하다. 또한

* 正 會 員 : 慶熙大 電子工學科 博士課程

** 正 會 員 : 現代自動車 技術研究所 研究員

*** 正 會 員 : 慶熙大 電子工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1998年 10月 27日

最終完了 : 1999年 5月 28日

급전회로의 크기를 축소시킴과 동시에 새로운 공간확보가 용이하여 능동 소자를 집적시킬 수 있다. 마이크로스트립 안테나는 보통 전송선 급전 구조나 프로브 급전 구조 등이 널리 알려져 있다. 이 구조는 기존에 비하여 급전 회로 설계가 용이하며, 편파 형성시 급전 구조를 쉽게 구현할 수 있다[5]. 패치는 특성 임피던스를 가지는 마이크로스트립 선로에 직렬로 연결된 집중회로 성분으로 등가화 시킬 수 있다. 패치의 직렬 인덕턴스는 전기적으로 작은(공진 주파수에 비하여) 면을 등가화 시킨 것이다. 마이크로스트립 안테나는 보통 전송선 급전 구조나 프로브 급전 구조 등이 널리 알려져 있다. 이 구조는 기존의 전송선 급전 구조나 프로브 급전 구조에 비하여 급전 회로 설계가 용이하며, 편파 형성시 급전 구조를 쉽게 구현할 수 있다[5]. 그림 1은 설계된 2×2 배열 안테나를 도시한 것이다.

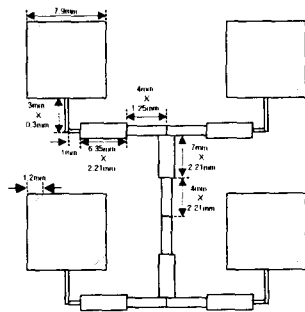


그림 1 2×2 배열 안테나
Fig. 1 2×2 array antenna

설계에 사용된 기판은 방사면과 급전면 모두 동일한 기판을 사용하였다. 사용된 기판은 Taconic사의 TLX-9-0310-ch/ch이며, 이 기판의 유전율은 2.5, 두께는 0.7874mm, 손실 상수는 0.0019이다. 그림 2에서 패치의 크기를 적당히 조정하여 설계 주파수인 11.7~12GHz에서 공진이 발생하도록 하였고, 급전 방식으로 편파를 형성하도록 설계하였다. 무궁화 위성은 좌원형편파를 사용하므로 편파를 형성하도록 하기 위하여 크기는 같고 90°의 위상차가 발생하도록 급전하였다. 이 설계에는 마이크로스트립 안테나 설계에 널리 사용되고 있는 Ensemble을 이용하였다.

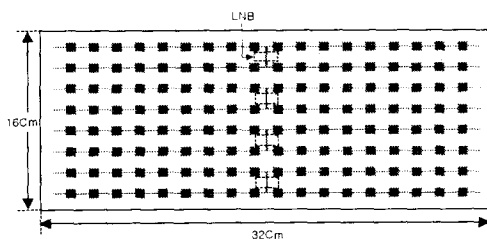
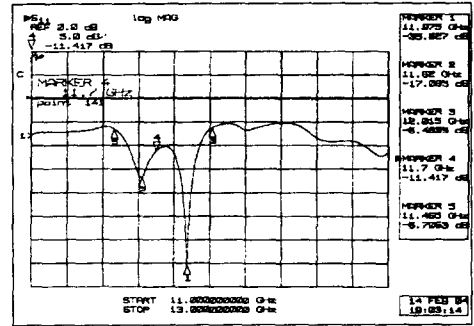


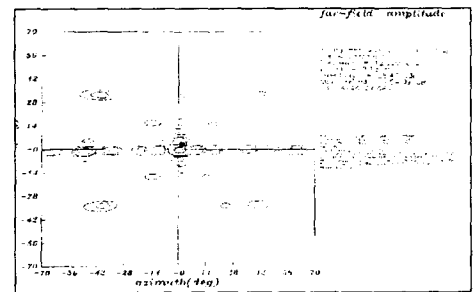
그림 2 8×16 마이크로스트립 배열 안테나
Fig. 2 8×16 microstrip array antenna

그림 1의 패치를 기본 단위로 하여 8×16 마이크로스트립 배열 안테나를 그림 2와 같이 구성하였다. 각 패치의 간격은 0.85λ₀로 설계하였으며 이론상 이득은 25dB이다. 그림 3

은 안테나에 대한 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 나타낸 것이다.



(a) 반사계수(S11) 특성



(b) 방사패턴

그림 3 8×16 배열 안테나 시뮬레이션 및 측정결과

Fig. 3 Simulation and experimental results of 8×16 array antenna

결과에서 설계 주파수 보다 넓은 매우 우수한 임피던스 특성을 나타냄을 알 수가 있었다. 패치에서의 주파수 특성은 설계 주파수에서 반사손실(VSWR을 2이하 일 때를 대역 폭으로 설정)이 -19dB이하로 측정되었다. 그리고 배열 안테나의 경우 11.1~12.5GHz(11.8%)의 광대역 특성을 얻을 수 있었으며, 무궁화 위성 방송 수신이 가능하였다.

3. 위성 추적/지향 알고리즘

방송특유의 초당 30프레임 전송신호를 수신하기 위해서는 위성 추적 및 지향이 고속으로 이루어져야 한다. 이동체에서 위성을 추적/지향하는 기본 알고리즘은 위성방송 수신 신호 세기를 바탕으로 지향하는 페루프 방식과 지구표면의 절대적인 좌표와 움직임에 대한 보상 등을 통해 위성을 추적하고 지향하는 개루프 방식이 있다. 본 연구에서는 위의 두 가지 방법을 혼용하여 적용하였으며 개괄적인 알고리즘은 다음과 같다.

- 전반구면에 걸쳐서 배열안테나의 공진조건에 적합한 가장 강한 신호의 범위를 선택, 그때의 자세감지 센서의 값으로부터 위성의 초기위치를 결정한다.

- 이동체와 위성간의 Line of sight가 형성되는 구간에서는 페루프 순차로빙에 의하여 위성을 추적한다.

- 이동체와 위성간의 Line of sight 미형성시에는 개루프 방식으로 위성을 추적한다.

3.1 위성 추적/지향 방위각과 양각

지구 정지궤도 위성은 지구에서 관측할 때 상공의 한 지점에 고정되어 있다. 그러나 우주 공간의 상대적 관점에서 보면, 정지궤도 위성은 약 11,086.8km/h의 속도로 지구주위를 궤도운동하는 것처럼 보인다. 그러므로 뉴턴의 운동법칙과 케플러의 제2운동법칙을 적용하여 기준 지향 알고리즘의 방위각(A_r)과 양각(E_r)을 다음과 같이 유도할 수 있다[6].

$$A_r = \tan^{-1} \left(\frac{\tan|\theta_S - \theta_L|}{\sin\theta_l} \right) \quad (1)$$

$$E_r = \tan^{-1} \left(\frac{r - R_e \cos\theta_l \cos|\theta_S - \theta_L|}{R_e \sin[\cos^{-1}(\cos\theta_l \cos|\theta_S - \theta_L|)]} \right) - \cos^{-1}(\cos\theta_l \cos|\theta_S - \theta_L|) \quad (2)$$

여기서 r 은 위성과 지구중심과의 거리, R_e 은 지구 반경, θ_l 과 θ_L 은 차량의 위도 및 경도, θ_S 는 위성의 경도이다. 차량의 실제 위치 및 방향은 위도, 경도, Roll, Pitch 그리고 Yaw($\theta_l, \theta_L, \phi, \theta, \psi$)의 5가지 요소로 표현할 수 있다. 그리고 Roll, Pitch 그리고 Yaw각은 차량의 상하좌우의 기울어진 각도와 방위각을 표현한다. 이러한 5가지 요소의 표현을 위해 Euler의 Roll, Pitch 그리고 Yaw System III를 도입한다. 이 방법은 각 축에 대한 회전을 상대적인 축들의 관점에서 독립적으로 표현할 수 있다는 장점이 있다. 이동체의 방향 각 변화는 자자기 센서나 관성센서인 자이로스코프로부터 출력신호를 감지하여 측정한다. 그리고 나머지 두요소, 이동체의 위도 θ_l 와 경도 θ_L 는 GPS의 출력신호로부터 구한다. 구좌표계를 기준으로한 이동체의 위성안테나의 위성 지향 방위각(A_r)과 양각(E_r)을 직각좌표계로 표현하면 다음과 같이 최종 유도된다.

$$T_{A_r} = C^{-1} \left[\frac{-S\theta C E_r + C\theta C\theta C A_r S E_r + S\theta C\theta S A_r S E_r}{S \left[C^{-1} \left(-S\psi S A_r S E_r C\phi + S\psi C A_r S E_r S\phi + S\theta C A_r S E_r C\phi C\psi \right) + S\theta S A_r S E_r S\phi C\psi + C\theta C\psi C E_r \right]} \right] \quad (3)$$

$$T_{E_r} = C^{-1} \left[\frac{-S\psi S A_r S E_r C\phi + S\psi C A_r S E_r S\phi + S\theta C A_r S E_r C\phi C\psi}{S\theta S A_r S E_r S\phi C\psi + C\theta C\psi C E_r} \right] \quad (4)$$

여기서 $C = \cos$, $S = \sin$ 이다.

3.2 위성 추적/지향 연산 흐름

입력되는 신호로부터 빠른 응답으로 정확하게 추적/지향하기 위해서는 연산 알고리즘이 중요한 요소를 차지한다. 시스템 작동초기에 위성을 빠르게 추적하기 위해서 고정된 위성의 위치범위를 설정하고 해당범위내에서 추적을 실시한다. 이후 가장 강한 방송신호 부근에서 다시 추적을 실행하여 빠른 응답성을 가지도록 하였다. 또한 다음과 같은 기능을 포함함으로써 신속한 추적지향 기능을 향상시켰다.

- 초기 위성 방향을 설정하기 위해서 스텝추적방식으로 시스템 동작 직후 위성추적
- 이동체와 위성사이에 Line of Sight가 형성되고 이동체의 급격한 자세변화가 없는 경우 위성추적
- 이동체와 위성 사이에 Line of Sight 미형성으로 방송 신호 차단에 의한 블로킹 위성추적
- 지속적인 주변 외란 등에 의한 신호 감쇄시 위성추적

위성 추적/지향 알고리즘의 전체 흐름도는 그림 4와 같다.

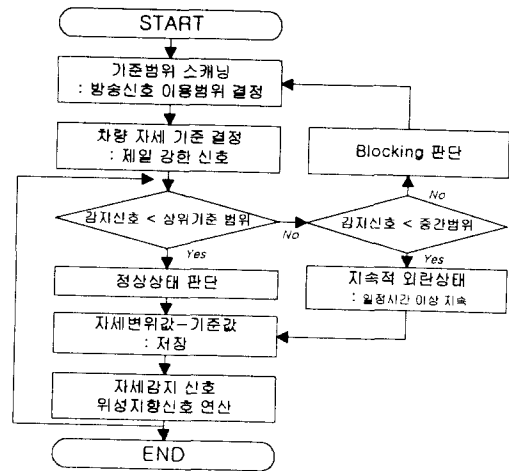


그림 4 위성 추적/지향 흐름도
Fig. 4 Flowchart of satellite tracking/pointing

4. 제어 시스템 구현 및 실험

4.1 제어 시스템

본 시스템을 구현하기 위한 주요 구성요소는 6가지로 구성된다. 시스템 구성 6요소는 각 시스템 전원회로, 16bit MicroController, 방송신호 감지모듈, 방위각 감지모듈, Roll과 피치가 감지모듈, 위상변위기 구동신호 출력회로 등이다.

시스템 프로그래밍과 제어시스템으로 구동 소프트웨어를 전송하기 위해서 펜티엄II 166MHz 노트북 컴퓨터를 사용하였다. 그리고 16bit MicroController로는 인텔사의 80196KC-20MHz를 사용하여 제어시스템의 주요 연산 주변회로를 구성하였다[7]. 시스템 컴퓨터와 MicroController와의 연결은 병렬포트인 LPT1과 직렬포트인 COM1을 사용하여 양방향 데이터 통신이 가능하도록 연결하였다. 제작된 Micro-Controller는 그림 5와 같다.

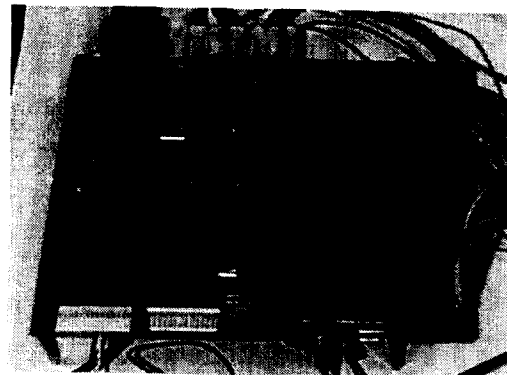


그림 5 16bit MicroController
Fig. 5 16bit main ECU(Electric Control Units)

전원입력은 차량용 축전지 출력전원과 같은 +12V를 입력으로 사용하여 시스템에서 +12V, +5V, +15V를 시스템에 각각 공급한다. 축전지의 전원은 일반적으로 범위가 +10.5V~

+14.5V정도이며 스위치로부터 전원인가시 순간 Surge 및 전원 잡음을 제거하기 위하여 Spark Gap (EMI Suppression Filter : ZNR), 104, 10μF 콘덴서를 실장하였다. 일반적으로 잡음이나 Ripple의 제거를 위해 전해콘덴서와 세라믹콘덴서를 동시에 사용하는데 전해콘덴서는 용량이 큰 반면 고주파에서 효율이 떨어지므로 높은 주파수에서 정전용량값이 충분히 발휘되는 세라믹콘덴서를 병렬로 연결한다.

방송신호 감지모듈은 신호분주회로, 추적채널, 주파수 선택회로, 신호감도 검출회로로 구성되어 있다. 신호감지모듈의 주요 특성 값은 표 1과 같다.

방위감지모듈은 이동체의 방위각 방향으로의 자세 변화량을 기준점에 대하여 절대각도를 구한다. 그리고 이 모듈은 차량에 장착되어있는 조향각센서를 이용한다. 초기에 이동체의 가장강한 방송신호가 입력시에 대하여 위성의 초기위치를 결정하는데 사용되며, 이동 중에도 기준점에 대하여 방위각 방향으로의 절대각도를 검출할 수 있다. 또한 모듈 구성상 특별히 보정기능을 추가하지 않아도 되도록 설계되어 있다. 출력되는 신호는 TTL Level의 3개의 신호가 출력된다. 이 신호는 ECU내의 I/F회로를 거쳐 CPU로 입력되어 6ms내외의 신호검출 및 연산주기로 절대각도 연산을 수행한다. 이 신호로부터 절대각도, 각속도, 방향, 방향전환 등을 산출할 수 있다.

표 1 신호감지모듈의 특성

Table 1 Characteristics of signal sensing module

항목	특성값
입력신호 주파수	950~1250 MHz
위성방송 반송파 주파수	11.85GHz, 21.3MHz BW QPSK
입력신호 레벨	정상 : -30.7dBm/carrier 강우 : -36.7dBm/carrier
분주손실	5dB
내부필터 대역폭	27MHz
감지출력 신호형태	신호강도 검출 : AC 1~5V
감지출력 오류	잡음에 의한 오류 0.5dB 이내
분주출력	정상 : -35.7dBm/carrier 강우 : -41.7dBm/carrier
분주방향	감지회로 및 위성방송 수신기
입출력 접속	입력 75, 출력 75
공급전력	+5VDC, 200mA 이하

가속도 감지모듈은 Analog World사의 ADXL05소자를 X-Y 두축방향으로 구성하여 사용한다. 이 모듈은 내부에 가속도센서와 저항 및 콘덴서로 구성되며 소자의 값에 따라 출력신호의 사양을 결정할 수 있다. 설계된 모듈의 출력전압신호는 다음 식과 같이 결정된다.

$$V_{out} = \left[\text{Accelerometer Scale Factor} \left(\frac{V}{g} \right) \times \sin(\theta) \times 1g \right] + \text{zero output}(V) \quad (5)$$

위식으로부터 구해진 출력전압신호에 따라 측정하고자하는 Roll각과 Pitch각은 다음과 같은 선형적인 관계에 따라 구할 수 있다. 그리고 시스템에 사용된 가속도 감지모듈은

그림 6과 같다.

$$\theta = \arcsin \left(1g \times \left[\frac{V_{out} - \text{zero output}(V)}{\text{Scale Factor}(V/g)} \right] \right) \quad (6)$$

시스템에 사용된 위상변위기는 5V로 구동되는 5bit입력을 갖는 38핀 DIP형태로 4개를 사용한다. 위상변위기 구동부로부터의 입력을 받아 위성방송의 RF 신호를 동위상으로 변환한다. 즉 위상추적 알고리즘으로부터 계산된 방위각과 양각을 바탕으로 각 위상변위기의 변위각을 계산하고 이를 위상변위기의 해상도 11.25°로 나누어 반올림 계산법을 적용하여 구동입력을 결정한다. 위상변위기의 외형 및 내부 구조는 그림 7과 같고 위상변위기 구동회로는 그림 8과 같다.

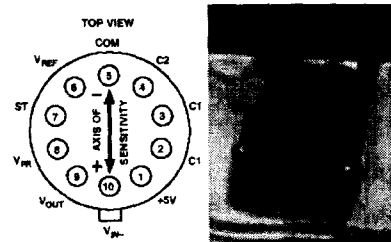


그림 6 가속도 감지모듈
Fig. 6 Accelerometer sensing module

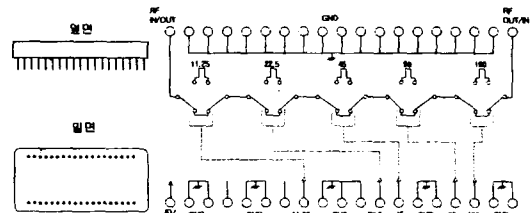


그림 7 위상변위기 외형/내부구조
Fig. 7 Structure/configuration of phase shifter

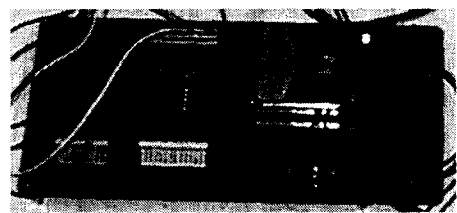


그림 8 위상변위기 구동회로
Fig. 8 Driving circuit for phase shifter

이러한 구성요소들을 사용하여 구성한 전체 시스템의 구성도는 다음 그림 9와 같다.

전체 구성도에서 보는 바와 같이 크게 R/F 부분과 제어 시스템 부분으로 나뉘어진다. 위성으로부터 안테나에 신호가 도달되면 LNB(Low Noise Block Down Converter)를 통해 위상변위기로 전달된다. 이때 차량의 자세 및 위치가 가변적이므로 안테나의 위성지향방향도 달라지게 된다. 그러므로 차량의 자세 및 위치 감지 모듈을 통해 정확한 위치를 연산한다. 이러한 차량의 위치 및 자세 정보를 바탕으로 안테나의 위성지향 방위각과 양각을 연산한다. 이 방위각과 양각은 위상변위기를 구동할 입력을 계산하기 위한 근거가

된다. 위상변위된 방송신호는 최대이득으로 위성방송수신기로 입력된다. 이때 수신기 내부의 위성신호 감지모듈로부터 위성신호의 이득이 결정된다. 그러므로 이 신호는 다시 제어시스템으로 케환되어 현재의 연산결과와 수행 타당성 및 최대 신호 이득 범위를 결정하게 된다. 이러한 과정을 통해 방송 가능한 신호범위 이상으로 위성신호가 수신되면 차량의 액정 컬러 모니터에 연결되어 위성방송 서비스를 시작하게 된다.

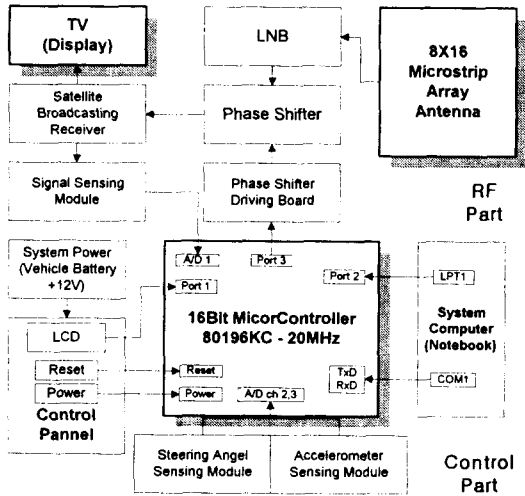


그림 9 이동체용 위성방송 시스템
Fig. 9 Satellite broadcasting system for vehicle

4.2 시스템의 실험 및 고찰

본 연구에서 제안한 위성방송 시스템의 유효성 및 타당성을 검증하기 위해 (주)하이게인 안테나 논산연구소의 무반향실에서 전체 시스템을 검증하는 시험을 수행하였다. 측정 기준은 마이크로스트립 안테나의 상위 배열요소를 기준으로 하여 나머지 요소들의 위상변위 및 방사패턴을 측정하여 분석하였다. 측정된 결과 중에서 위상변위기 해상도의 정수배가 되는 경우와 이론적 계산과 실제 측정 결과가 많은 오차를 보이는 경우 4가지만 표 2에 나타내었다.

표 2 4가지 경우 이론적 빔패턴 및 측정 결과 비교
Table 2 Comparison of theoretic beam pattern and experimental results about 4-case

구분	Array Factor 지향 방향 (θ, ϕ)	Antenna Pattern 지향 방향 (θ, ϕ)→이론	Antenna Pattern 지향 방향 (θ, ϕ)→측정
경우1	(0, 0)	(0, 0)	(-4.5, 0)
경우2	(30, 45)	(20, 43)	(16, 45)
경우3	(30, 135)	(20, 138)	(16, 135)
경우4	(45, 45)	(30, 42)	(26, 45)

측정 결과는 첫 번째로 디지털 위상변위에 의한 오차가

나타난다. 디지털 위상변위방식을 사용하므로 디지털 방식이므로 $11.25^\circ \times n$ 인 경우만 정확하고 위상변위 해상도 사이의 경우는 최대 $11.25^\circ / 2 = 5.625^\circ$ 정도의 오차가 발생하고 있다. 그러나 이러한 근본적인 위상변위기 자체의 오차를 고려하면 실제 측정시의 빔 지향 방향은 이론적 빔 지향 방향과 큰 오차 없이 일치하는 것으로 확인하였다. 그리고 위상변위기 구동 각도가 $11.25^\circ \times n$ 인 경우도 네트워크 분석기로 실내 측정시 최대 6° 까지 오차 발생가능성을 예측하여 안테나를 설계하였다. 즉 안테나는 수신 빔폭을 예상오차를 포함할 수 있도록 설계하였다. 또한 제어시스템을 허용오차 범위 내에서 구동될 수 있도록 보완하고 최적화의 단계를 수행하였다.

5. 결 론

본 연구에서 제안된 평판 안테나 시스템의 구조, 위성링크 설계, 방사소자 모듈, 위성 추적 방식 등의 기술들은 보다 발전된 고성능, 고부가가치의 시스템 개발에 기반 기술로서 응용이 가능하므로 차량, 선박 및 항공기 등의 이동체를 위한 능동 시스템 연구에 적극 활용할 수 있을 것이다. 그리고 무궁화 위성방송을 수신하기 위한 능동안테나 제어시스템 개발은 방송수신만이 아니라 위성 통신용으로 다양한 응용이 가능하며 본 시스템 개발 시에도 이러한 목적에 맞추어 연구되었다. 본 연구는 주식회사 현대자동차 기술연구소의 지원으로 연구되고 있으며 현재 개발된 시스템을 1차년의 연구결과이며 2차년 과제로 차량용 사양을 만족할 수 있는 시스템 구현을 추진중이다. 이러한 시스템 연구개발은 주변 기술과 밀접한 관계를 가질 뿐만 아니라 다른 시스템 개발에도 많은 영향을 준다. 따라서 최적화된 시스템 구현을 위해서는 주변 관련 기술들의 동향 및 발전방향에 대한 조사가 병행되어야 한다.

본 연구는 기본적으로 전문화된 각각의 기술을 통합하여 다양한 용도의 응용시스템 구현에 목적을 두고 있다. 이러한 목적에 대한 결과는 만족할 수 있는 수준이었으나 결과적으로 시스템의 최적화 및 차량용 특성과 사양에 적합한 시스템 구현이라는 과제를 남겨두고 연구중에 있다.

감사의 글

본 연구는 산학공동연구과제로 1997~1998년도 주식회사 현대자동차 기술연구소의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

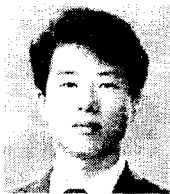
[1] K. R. Carver, "Microstrip antenna technology", IEEE Trans. AP-29, No. 1, Jan. 1981, pp. 2-24
[2] Warren L. Stutzman and Gray A. Thiele, Antenna theory and design, John Wiley & Sons, 1981, Chap. 3

- [3] David M. Pozar and Daniel H. Schaubert, Microstrip Antennas, IEEE Press, 1995, pp. 3-25, pp. 176-184
- [4] E. Leune, G. Malamud, S. Shtrikman, "A Study of Microstrip Array Antennas with the Feed Network", IEEE AP, vol. 37, no.4, April 1989, pp. 426-434
- [5] K. Hujimoto and James, Mobile Antenna Systems Handbook, Artech House, 1980
- [6] Tri T. Ha, Digital Satellite Communication, McGraw-Hill Publishing Company, 1990, Chap. 2, pp. 31-68
- [7] 차영배, Micro Controller 80196, 다다 미디어, 1997

저 자 소 개



김기열 (金祺烈)
1968년 3월 7일생, 1993년 경희대 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정



이상호 (李相鎬)
1965년 1월 3일생, 1992년 경희대 전자공학과 졸업. 현재 현대자동차 기술연구소 연구원



박종국 (朴鍾國)
1945년 2월 7일생. 1971년 서울대학교 물리학과 졸업. 1975년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1979년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1987년~1989년 미국 Oregon State Univ. 전기과 교환교수. 1992년~1993년 대한전자공학회 제어계측분과위원회 위원장. 1992년~1994년 대한전기학회 편집위원. 1996년 현재 한국 Fuzzy System학회 부회장. 1996년 현재 경희대학교 전자공학과 교수. 주관심분야 : Robics, Fuzzy 이론, 제어이론, Mobile Robot