

송신 신호의 도달 시간차(TDOA)를 이용한 위치 측정 시스템의 구현

김동욱
아주 대학교 전자공학부

Position Measuring System Design using Time Difference of Arrival

Dong Uk Kim
Department of Electroics Engineering, University of Aiuu

Abstract - There are several methods of measuring position. For example GPS, AOA, TDOA and using radio camera. In this Paper I used TDOA method in position measuring system. TDOA method uses arrival time difference. In position measuring system, three transfers which is placed in different position transfer signal to receiver in fixed time interval and receiver records arrival time of signal. Because receiver knows idle signal's arrival time, receiver can calculate the difference of the signal's arrival time between idle and real. When we obtain time difference we can know the receiver position by Newton Raphson method.

적 풀이법을 사용하였다. 수학적 풀이법은 송수신기 일대일의 전파 지연이 아니라 지연의 차를 이용해야 하므로 사용할 수 있는 기본식은 다음과 같다.

$$D1 - \frac{D2}{c \times (T1 - T2)} = \sqrt{(x1 - Ux)^2 + (y1 - Uy)^2} - \sqrt{(x2 - Ux)^2 + (y2 - Uy)^2} \quad (1)$$

$$D2 - D3 = \frac{D3}{c \times (T2 - T3)} = \sqrt{(x2 - Ux)^2 + (y2 - Uy)^2} - \sqrt{(x3 - Ux)^2 + (y3 - Uy)^2} \quad (2)$$

$$D3 - D1 = \frac{D1}{c \times (T3 - T1)} = \sqrt{(x3 - Ux)^2 + (y3 - Uy)^2} - \sqrt{(x1 - Ux)^2 + (y1 - Uy)^2} \quad (3)$$

1. 서 론

현재 일반인이 쉽게 사용할 수 있는 위치정보 서비스는 GPS 추적 방식과 Cell 방식이 있다. GPS 방식은 우주 부분(Space Segment), 사용자 부분(User Segment) 그리고 관제 부분(Control Segment)의 3개의 부분으로 이루어져 있어서 위성에서 보내주는 항법 메시지를 받아 수신기에서 위치를 계산함으로써 위치를 파악하는 위성 항법 시스템이다. 즉 수신기가 위치를 계산하기 위해서는 위성으로부터 오는 신호를 받아야 하는 통신 시스템이 필요하다. Cell 방식은 크게 신호감쇄 측정법(Measure of Signal Attenuation), 수신각 측정법(Measure Angle of Arrival), 수신 시간차 측정법(Time Difference of Arrival)이 있다. 이 중에서 수신 시간차 방식은 모바일 폰으로부터 신호가 전송되어 질 경우 신호의 전송속도가 100feet/us 정도인 것을 이용하여, 각 신호 수신 처에서 신호의 수신에 따른 수신 시간표를 만들게 되고 이러한 시간 정보는 곧 신호의 속도와 연계되어 거리로 계산되어 서로의 상관성에 의해 쌍곡선을 그리게 된다. 결국 이렇게 만들어지는 쌍곡선들의 교차점으로서 위치를 추정하게 된다. 이러한 방식을 TDOA라 한다. 본 논문에서는 이러한 TDOA 방법을 이용하여 거리 측정을 위한 데이터를 획득하고 수학적 풀이법을 사용하여 위치를 측정하였다. 3차원에서의 수학적 풀이법을 사용할 경우 계산할 수 없는 위치 좌표가 존재하기 때문에 2차원에서의 수학적 풀이법을 사용하였다.

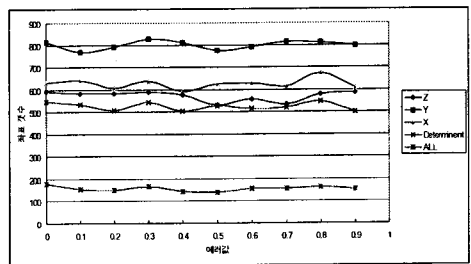
수신기의 위치는 위의 (1),(2),(3)식을 연립 풀이하여 찾아지는 U_x, U_y 의 값이 된다. 위와 같은 비서형 연립 방정식의 풀이를 위하여 Newton Raphson Method를 사용하였다. 3차원에서 수학적 풀이법을 사용할 경우의 가장 큰 문제점은 계산할 수 없는 좌표들이 존재하는다는 것이며 이것은 동일한 형태의 식을 반복 계산하면서 일정한 값들을 만들어내고 이로 인해 풀이과정중 '0'값을 가지는 중간값이 인자들이 생성되기 때문이다. 이의 해결을 위해 2차원에서의 수학적 풀이법을 사용하여 3차원 영역에서처럼 계산 할 수 없는 위치들의 발생을 막고 식의 계산량을 줄일수 있었다.

2. 본 론

2.1 위치측정 시스템의 기본 기능

2.1.1 위치결정을 위한 알고리즘

위치 결정을 위한 알고리즘으로 본 시스템에서는 수학



〈그림 1〉3차원 좌표계 사용시 계산 풀이가능 좌표의 갯수

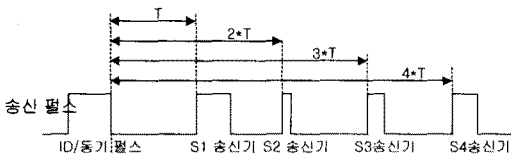
2.1.2 위치 측정 시스템의 동작

본 논문에서의 위치 측정을 위한 위치 데이터는 TDOA개념의 두 좌표로부터 오는 신호의 시간 지연의 차이이며 얻어진 데이터의 처리방법으로 수학적 풀이법을 채택하였다. 따라서 위치측정 시스템에서는 다음과 같은 목적의 기능을 수행해야 한다. 첫째, 신호의 시간 지연의 차를 얻을 수 있어야 한다. Master 송신기는 전체 시스템 시간의 기준이 되어지는 동기 신호를 출력하는 정확한 시간 간격마다 자신의 신호를 송신하기 위한 시간 타이머와 무선 송신 기능이 요구된다. Slave 송신기

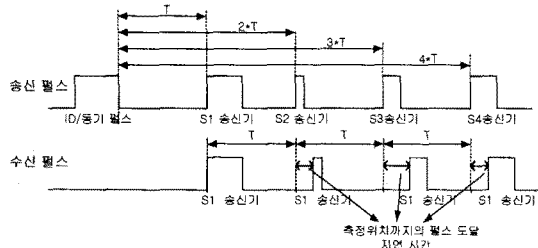
는 이러한 Master 송신기의 동기 신호를 수신 및 일정 시간후 신호의 송신을 위하여 무선 수신기능과 시간 타이머 기능 그리고, 무선 신호 송신기능이 요구된다. 수신기는 송신기 시스템에서 송신된 신호를 수신하여 시간차를 얻는 시스템으로 무선 수신기능과 각각 신호 수신간의 시간 카운터 기능 그리고, 얻어진 시간 지연의 차값의 저장 장소의 기능이 요구된다. 둘째, 얻어진 데이터로부터 수신 단말기의 위치 좌표를 얻을 수 있어야 한다. 시스템은 저장된 데이터를 프로세서에게 전달하여 위치 측정 프로그램을 이용해 위치 좌표를 획득해야 한다. 셋째 얻어진 수신 단말기의 위치 좌표를 사용자에게 표시하여 줄 수 있어야 한다. 넷째, 위치 측정을 위한 신호의 송수신과 함께 user data를 함께 전송, 수신하여 사용자를 위한 Application에 응용할 수 있게 하여야 한다.

2.1.3 위치 측정 시스템의 동작

위치 측정 시스템에서 송신기는 일정 시간을 가지고 계속해서 전송 데이터를 포함한 신호를 송신하게 된다. 각 송신기가 일정한 자신의 송신 신호를 전송하기 위해서 Master 송신기는 다른 신호를 동기화 시키는 신호를 출력하며 Slave 송신기들은 <그림 2>과 같이 Master 송신기로부터의 동기신호에 맞추어 일정시간 후 자신의 신호를 송신하게 된다. 수신기는 각 송신기로부터 전송되어지는 신호를 수신하여 거리에 따른 시간지연간의 차를 측정하게 된다. 이러한 수신기 역시 신호 측정을 위해 Master 송신기의 신호에 동기 되어 동작한다. <그림 3>에서와 같이 수신기가 의 S1 송신기로부터 전파를 수신한 후 일정시간 T 이후에 S2 송신기로부터 송신 펄스를 기다리게 된다. 그러나, 송신 펄스는 송신기 S2와 수신기와의 거리만큼 시간 지연을 가진후 수신기에 도달하게 되므로 실제 기대하던 지연시간 T와는 다르게 수신된다. 따라서 수신기는 송신신호의 수신부터 다음 송신신호의 수신까지를 측정하여 시간지연의 값을 얻을 수 있다.



<그림 2> 송신기의 송신 전송도



<그림 3> 시간 지연 값의 획득

얻어진 시간 지연에 관한 데이터는 일정 시간 마다 프로세서에 의해 처리된후 사용자를 위하여 결과 위치를 표시한다.

2.2 위치측정 시스템의 구현

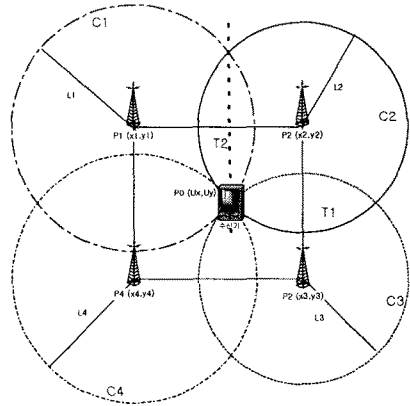
2.2.1 시스템의 구성요소

위치 결정을 위한 시스템은 기능에 따라 RF 모듈부와 디지털 처리부로 나누어지며, 구성 요소로 구분하면 송신기 시스템과 수신기 시스템으로 구분 할 수 있다. RF 모듈부는 송신기에서 송신 펄스를 생성하여 전송하는 기

능과 수신기에서는 전송되어진 송신 펄스를 수신하여 지연시간을 측정하는 기능을 하게 된다. 디지털 처리부는 송신기에서는 동기신호의 인식 및 송신 지연 시간의 측정을 담당하게 되며 수신기에서는 송신 펄스로부터 측정되어진 전파의 지연시간을 이용하여 수신기의 위치를 결정하는 프로세싱 기능을 담당하게 된다. 송신기는 전파를 생성하고 전송하는 기능을 담당하며 기능에 따라 다른 Slave 송신기들을 동작시키기 위한 동기 신호를 생성하여 전송하는 Master 송신기와 동기신호에 맞추어 일정 시간 지연 후 송신 펄스를 전송하는 Slave 송신기로 구분되어진다. 이러한 기능을 해서는 전송시간의 정확한 측정을 위한 정확한 클럭과 최적화된 시간 측정 로직이 필요하다. 전송을 위한 RF 모듈은 Control 블록으로부터 받은 신호를 지연 없이 송신펄스로 변환하여 충분한 전력을 공급하여 전송해야 하고, 수신을 위한 RF 모듈은 송신 펄스에 포함된 잡음을 제거해야 하고, 전파 지연 시간을 측정해야 한다. 따라서 저속의 고정밀 클럭을 사용하여 클럭이 RF 단에 영향을 미치지 않고 정확한 전파 지연 시간을 측정할 수 있어야 한다.

2.2.2 전체 시스템의 구성

위치 측정을 위한 송신 시스템의 전체적인 구성은 수신기를 위한 신호의 송신기능을 하는 Master 송신기 1기와 Slave 송신기 3기 그리고 시간 지연을 구하여 위치를 계산하고 사용자에게 표시하여 주는 수신 단말기 1기로 구성되어진다. 전체 시스템의 구성은 <그림 4>과 같다.



<그림 4> 전체 시스템의 구성도

2.2.4 송신 시스템

송신기 시스템은 정확한 동기를 통한 파형을 발생시키는 타이머 모듈과 송신기 시스템 제어부를 통한 Master 송신기와 Slave 송신기로 구성된다. Master 송신기는 <그림 5>와 같이 타이머 모듈, 시스템 제어부, RF 모듈로 구성되어 독자적으로 자신의 신호를 일정시간마다 송신한다.

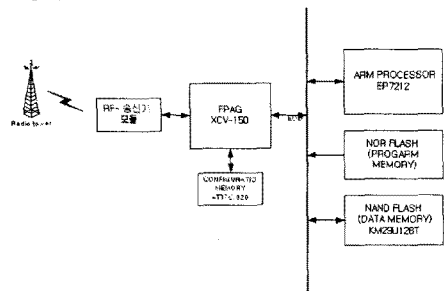
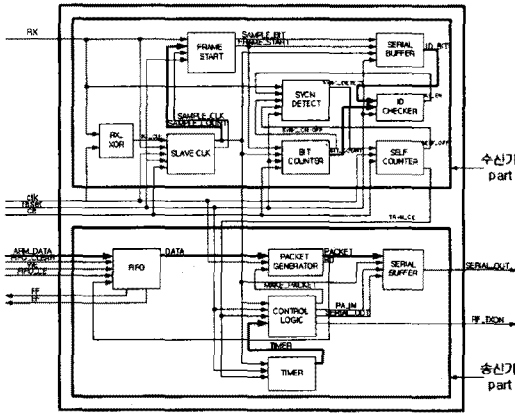


그림 5 Master 송신기의 시스템 블록도

Slave 송신기는 Master 송신기의 신호를 수신하여 Master 송신기의 sync bit 신호의 수신을 기점으로 자신의 출력 신호 신간을 얻은 후 프로세서로부터 얻어진 데이터를 FPGA로 구현된 모듈에 의해 일정 시간 간격을 두고 packet을 전송한다.



<그림 6> Slave 송신기 FPGA 내부 블록도

이를 위하여 FPGA를 통하여 수신 RF 모듈을 통한 신호의 처리를 위하여 전송 FRAME START 감지부, SYNC BIT 감지부, ID 해석부, 내부 클럭 생성부와 수신 BIT 카운터부 그리고, 자신의 신호 송신을 위한 시간계산부 및 신호 송신을 위한 송신부로서 processor로부터 받은 전송 데이터의 일시 저장장소, 전송 데이터를 이용하여 Packet을 만드는 모듈, Packet의 전송 모듈, 송신 RF 모듈의 컨트롤부분을 구현하였다.

2.2.4 수신 단말기

수신 RF 모듈로부터 들어온 신호에 대하여 각각의 송신기 신호를 구분하여 송신 시간의 sync 신호의 간격을 측정하는 FPGA 내부의 시간 측정부, 측정된 데이터를 바탕으로 일정 시간마다 사용자의 위치를 연산하는 연산부와 연결되어진 결과 위치값을 사용자에게 표시하는 인터페이스부로 구성되어 있다.

수신 단말기의 기본 동작은 Master 송신기로부터 한 cycle의 기준 신호를 받아 그 시간부터 예상되는 각 Slave 신호의 도착 시간을 계산하고 각 송신기 별로 도착 예상시간이 되면 카운트를 시작한다. 카운터가 정상적으로 동작되어 종료되면 각 카운트 값을 Slave 별로 단위 시간내의 전체 카운트 값에 더해 저장하고 각 Slave 송신기 별로 카운트값의 저장횟수 동작의 횟수를 기록한다. 단위 시간이 지나면 저장된 값을 가지고 각 Slave 송신기 별로 총 카운트값을 저장 횟수로 나누어 정밀한 시간 지연 값을 얻는다. 그리고, 시간 지연 값을 이용하여 계산알고리즘을 수행하여 기준 좌표에 대한 수

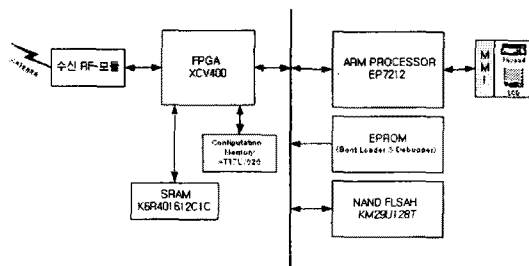
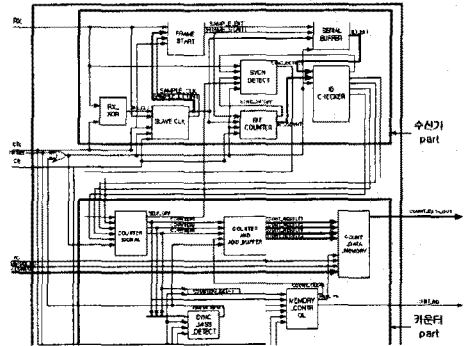


그림 7 수신 단말기 블록도

신기의 위치를 계산한다. 수신기는 Master 송신기에서 송출하는 하나의 정확한 전체 데이터를 수신하면 그 뒤에 수신되는 데이터는 무시하고 저장된 데이터를 이용해 해당 골프장에 해당하는 사용자가 요구하는 다양한 정보를 디스플레이 한다.

수신 단말기는 Master 송신기 및 각 Slave 송신기의 신호를 수신하여 Master 송신기의 sync bit 신호의 수신을 기점으로 각 Slave 송신기 sync 신호간의 시간 간격을 측정하여 이것을 일정한 시간동안 누적하여 저장하고, 일정시간 후 위치 측정을 위하여 프로세서에게 측정값을 전달한다.



<그림 8 수신 단말기 FPGA 내부 블록도>

이를 위하여 FPGA를 통하여 수신 RF 모듈을 통한 수신 신호의 처리를 위하여 FRAME START 감지부, SYNC BIT 감지부, ID 해석부, 내부 클럭 생성부와 수신 BIT 카운터부 그리고, 수신시간의 누적을 한후 일시 저장을 위한 버퍼부, 프로세서와 데이터 전달을 위한 메모리부를 구성하였고 내부 구성은 <그림 8>과 같다.

2.2.5 전송 Packet의 Format

시스템의 적용 지역 상호간의 단일 수신 단말기 사용 및 응용 서비스 개발의 용이성을 위하여 송신기와 수신 단말기 시스템간의 전송 데이터의 format을 <표 1>과 같이 규정하였다.

<표 1> 전송 데이터 Packet Format

PREAMBLE	FRAME START	ID	SYNC	DATA	CHECK SUM	FRAME STOP
2 BYTE	1 BYTE	3 BIT	5 BIT	1 BYTE	1 BYTE	11111111
0101010101010101	11110000	xxx	11011	xxxxxxxx	xxxxxxxx	11111111

① 2 byte의 preamble은 일정 시간 간격 동안의 반복적인 CLK 펄스의 수신을 통해 안정화 시키기 위함이다.

② 전송 Packet의 유효 데이터의 시작 부분을 나타내기 위해서 전송 packet frame start를 1byte으로 구성하였다.

③ 각 송신 시스템의 ID를 위해 3bit의 ID를 구성하였다.

④ Slave 송신기 및 수신 단말기의 수신 신호에 대한 시간 카운터의 기준이 되는 신호를 packet에 구성하여 각 수신 신호간의 Sync를 맞추기 위해 5bit를 사용하였다.

⑤ 전송 packet의 유효성을 검증하기 위하여 1byte의 checksum을 구성하였다.

⑥ 전송 packet의 유효 data의 끝부분을 나타내기 위해 Frame Stop을 1byte로 구성하였다.

3. 결 론

본 논문에서 제안되어진 위치 측정 시스템은 TDOA 개념의 두 좌표로부터 오는 시간의 차를 이용하여 위치 정보를 획득한다. 따라서, 위치를 결정하는 알고리즘 및

정확한 RF 모듈의 사용이 필수적이다. 시스템에 사용된 위치 결정을 위한 알고리즘은 수학적 풀이법으로써 3차원상에서의 적용은 계산과정 중 분모가 0이 되는 부분이 발생하여 계산할 수 없는 좌표가 존재하게 된다. 따라서, 3차원상에서가 아닌 2차원상에서 수학적 풀이법을 적용하여 식의 단순화와 측정하고자하는 모든 좌표에서 위치 값을 계산할 수 있다. 수학적 풀이법은 동일한 연산과정을 반복 수행하는 것을 중심으로 한 풀이과정이므로 오차의 요인이 누적될 위험성이 있다. 따라서, 동일 위치 상에서 반복 연산을 함으로써 오차율을 줄일 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] K.C. Ho, Y.T. Chan, "Solution and Performance Analysis of Geolocation by TDOA", IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, Vol.29, No.4, pp.1311-1322 논문제목, October 1993
- [2] S. Bancroft, "An Algebraic Solution of the GPS Equations", IEEE Trans. on AES, vol.AES-21, pp.56-59, Jan.1985
- [3] J.M. Delosme, M. Morf, and B. Friedlander, "A linear equation approach to locating sources from time difference of arrival measurements", Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Processing, 1980
- [4] D. Torrieri, "Statistical Theory of Passive Location Systems," IEEE Trnas. on AES, vol.AES-20, pp.183-197, March 1984