

넌코히어런트 전송 방식에서 초음파를 이용한 디지털 통신속도 개선 프로토콜 제안

Proposal of a non-coherent Communication Protocol with Ultra Sonic which can Improve the Communication Speed

윤병우*

Byung-woo Yoon*

요 약

수중이나 지하에서는 매질의 전도성으로 인하여 전파를 이용한 무선 통신이 어렵다. 이러한 경우 초음파 등과 같은 음향신호를 이용하여 무선통신을 하는데 이 경우도 시변 다경로현상, 도플러효과, 각종 감쇄 등으로 인하여 코히어런트방식의 통신에서는 장거리 전송이 어렵다. 따라서 장거리 전송에서는 FSK 등과 같은 넌코히어런트방식의 데이터 전송방식을 사용하는데 이 경우 음향신호의 전송속도가 늦다는 특성 때문에 넓은 대역폭의 데이터 전송이 어렵다. 수중에서 다양한 통신 수요에 따라 음성통신 뿐만 아니라 화상 데이터 전송 등이 요구되는데 이와 같은 많은 데이터 전송시 넌코히어런트방식의 통신에서 그 요구조건을 만족시키기가 어렵다. 본 연구에서는 시간지연신호에 디지털 데이터를 실음으로써 동시에 8비트 또는 16비트 등과같이 여러 비트의 데이터를 전송함으로써 전송속도를 개선할 수 있는 새로운 전송프로토콜을 제안한다.

Abstract

Propagation of electromagnetic wave in the water or underground is very difficult because of the conductivity of the propagation materials. In this case, we usually use acoustic signal as ultrasonic but, it is not easy to transfer long distance with coherent method because of time varying multipath, doppler effect, and attenuations. So, we use noncoherent method as FSK to communicate between long distances. But, as the propagation speed of acoustic sound is very slow, the BW of the channel is narrow. It is very hard to guaranty the enough speed of communication like digital image data. In this paper, we proposed a new data communication protocol which can transmit multi-bit digital data with every single ping, and improve the data communication speed in the water.

Keywords : non-coherent, method, FSK, Ultra sonic, A new communication protocol

I. 서 론

현대는 각종 통신 기술의 발달로 우리 생활은 매우 편리해져 가고 있다. 유선통신에서부터 각종 무선통신 등 다양한 통신 기술의 발달로 언제 어디서나 누구와도 원하는 통신을 할 수 있다. 통신에는 서로의 통화를 위한 유무선 전화도 있고, 각종 시스템을 원격제어 할 때나 원격지의 센서로 부터의 각종 데이터의 채집, 또한 각종 디지털데이터의 원격 전송 등 다양한 것들이 있다. 디지털 데이터를 주고받을 때는 병렬 통신과 직렬 통신이 있다. 병렬통신은 직렬통신에 비하여 데이터의 전송 속도가

빠르지만 전송선로가 복잡하다.

반면 직렬통신 방식은 병렬통신 방식에 비하여 속도가 떨어지는 단점이 있는 반면에 원거리 통신을 할 때 시스템의 구현이 용이하다는 장점이 있다. 이들 대부분 통신 방식은 변조를 통하여 원거리로 전송을 한다.

무선통신 방식에는 전자기파를 이용하는 방법, 적외선이나 레이저 등과 같은 빛을 이용하는 방법, 그리고 초음파 등과 같은 음향신호를 이용하는 방식 등이 있다. 이 중에서 전자기파를 이용하는 방식이 가장 일반적이고 멀리 전송도 가능하다. 전자기파를 이용하는 경우는 변조를 통해서 주파수를 분할함으로써 수많은 사람들이 동시에 통신을 할 수 있다. 빛을 이용하는 경우는 넓은 대역폭으로 인하여 빠른 통신을 할 수 있는 장점이 있지만 통신을 하고자 하는 두 위치 사이가 가시선(line of sight) 상에 있지 않으면 통신이 불가능하다는 단점이 있다.

수중 무선통신은 해저 유전개발 시스템의 자동 제어, 환

*경성대학교 전기전자공학 전공

접 수 일 자 : 2008. 11. 5 수 정 완 료 : 2009. 1. 7

계재확정일자 : 2009. 1. 28

※ 본 논문은 2006년 경성대 교내연구비 지원으로 연구되었음.

경 시스템에서 오염의 관측, 해저로부터 각종 데이터 수집, 다이버들간의 음성통신, 해저 물체 탐사를 위한 해저의 위치 매핑, 각종 새로운 자원 탐사 등 다양한 분야에서 필요로 한다[4].

수중이나 지하 등에서는 매질이 전기 전도성을 갖기 때문에 전파가 용이하게 전달되지 못하고, 흡수나 굴절로 인하여 빛을 이용한 통신에도 한계가 있다. 이와 같은 경우에는 다른 대안으로 초음파 등과 같은 음향신호를 이용하여 통신을 한다[1,2]. 하지만 음향신호는 전달 속도가 느리고 반사가 심해서 빠른 속도로 통신을 하기가 어렵다는 단점이 있다. 하지만 전파나 빛을 이용하여 통신을 할 수 없는 상황에서 음향신호는 매우 좋은 무선 통신 수단이 될 수가 있다.

텔레매트리, 원격제어, 두지점간의 음성통신, 수중 네트워크 등 다양한 수중통신에서 밴드폭 문제는 매우 중요하다. UWAS(underwater acoustic) 채널은 시변 페이딩 채널이다. 수직 채널은 그다지 시간에 따라 변하지 않는 반면 수평 채널은 영역과 신호의 전송률에 따라 다경로현상 등으로 인하여 심볼간 간섭(intersymbol interference)이 경우에 따라서는 수십 개의 심볼 간격을 갖는다[5].

수중통신에서 시변 다경로현상을 극복하기 위해서 대개 넌코히어런트(noncoherent) 변조방식을 이용하는데 이 방식에서는 비교적 전송속도가 낮다. 천해나 장거리 채널과 같이 빠른 위상 변화를 나타내는 곳에서는 FSK와 같은 넌코히어런트 방법을 많이 이용한다. 이 경우 심볼간의 간섭(ISI: Intersymbol Interference)를 극복하기 위하여 인접 펄스 사이에 반향이 모두 없어질 때까지 여유시간을 준다[4]. 이와 같이 펄스 사이에 빈 시간을 삽입하면 데이터 전송 효율이 저하된다.

최근 대역폭을 넓히기 위하여 PSK(Phase Shift Keying)나 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 등과 같은 코히어런트 방법에 대한 연구가 많이 진행되고 있다[7,8,11]. 이러한 방법은 통신 속도가 많이 개선되지만 수평 채널의 경우 다경로 현상이나 페이딩현상 등으로 인하여 장거리 전송에서는 어렵고, 주로 수직채널의 통신에 많이 이용된다[4]. 또한 전송속도를 개선하기 힘들기 때문에 코딩을 통하여 데이터의 전송량을 줄이는 연구가 많이 진행되는 추세에 있다[4].

본 연구에서는 음향신호를 이용한 넌코히어런트 통신 방식에서 기존의 프로토콜에 비하여 대역폭을 현저히 개선할 수 있는 새로운 프로토콜을 제안한다.

II. 초음파를 이용한 디지털 데이터 전송 프로토콜의 제안

천해나 큰 구경의 파이프 등과 같은 한정된 수중에서는 초음파 신호의 전송은 경계로부터의 반사로 인하여 수신부에서 진폭과 위상의 왜곡을 야기한다. 일반적으로 에너지는 흡수, 감쇄, 그리고 전기기구 요소의 불일치로 인하여 감소하고, 천해나 파이프 등에서는 다경로 현상으로 인해 더욱더 복잡해진다[3,9-12]. 수중에서 음향신호를 이용하여 통신을 할 경우 코히어런트 방식에서는 PLL이나 DLL 등을

이용하여 위상을 감지할 때 다경로 현상이나 감쇄, 도플러 효과 등으로 인하여 장거리 전송이 어렵다. 반면 FSK 등과 같은 넌코히어런트 방식은 시간지연과 주파수 확산 등에 강인하기 때문에 천해나 장거리 전송에 코히어런트 방식보다 유리하다. 천해나 해저 장거리 수평통신 등에서는 넌코히어런트 FSK는 캐리어의 진폭 변화에 독립적이기 때문에 시스템이 강건하다. 따라서 시스템을 구현함에 있어서 데이터의 전송률이 많지 않은 곳에서는 시스템의 간소화 측면에서 비간섭 탐지 시스템을 많이 이용한다[3]. 넌코히어런트 방법에서 주된 관심사는 펄스간에 여유시간을 삽입함으로써 ISI(Intersymbol Interference) 효과를 최소화 하는 것이다 [3,5].

전자기파는 전파 속도가 $3 \times 10^8 m/sec$ 인 반면 소리는 전달 속도가 상온 18° C에서 공기중에서는 340m/sec, 수중에서는 약 1,500m/sec로 전파에 비하여 매우 느리다. 따라서 음향신호를 이용하여 데이터를 전송하는 좁은 대역폭으로 인하여 데이터의 전송 속도가 매우 낮다.

넌코히어런트 방식으로 초음파를 이용하여 디지털 데이터를 전송할 경우 서로 다른 두 주파수를 이용하여 디지털 '1'과 '0'을 전송하거나 디지털 신호를 펄스의 형태로 만들어 음향신호가 있을 경우는 '1', 없을 경우는 '0' 등으로 약속을 할 수가 있다. 음향신호는 매질을 통한 전달 과정에서 반사로 인한 많은 간섭을 받는다. 따라서 전송 속도에 더욱더 큰 장애를 갖고 있다. 또한 음향 신호는 주파수 변조가 불가능하기 때문에 같은 공간에서 여러 개의 신호를 동시에 전달할 수가 없다. 이러한 여러 가지 이유로 신호 전달 속도를 개선하기 위한 획기적인 프로토콜에 대한 필요성이 절실하다.

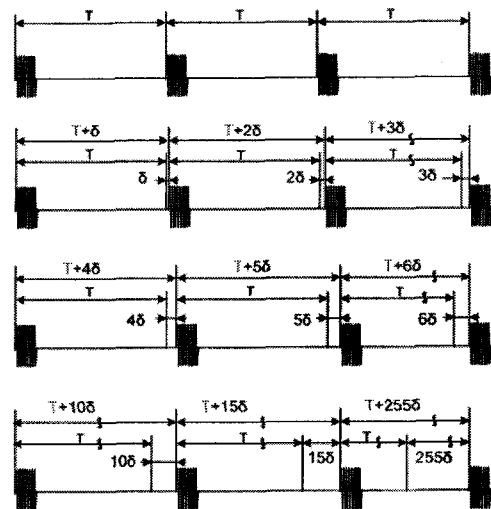


그림 1. 시간지연을 이용한 디지털데이터 전송 방법

Fig. 1. Digital data transmission method using time delay

그림 1은 본 연구에서 제안하는 시간지연을 이용한 디지털 데이터 전송 프로토콜에 대한 설명이다. 넌코히어런트

방식인 단일 FSK에서는 동시에 1비트의 디지털 데이터를 전송하지만 본 논문에서 제안하는 방식은 음향신호의 전달 속도가 느린 점을 감안하여 동시에 여러 비트의 디지털 데이터를 전송할 수가 있다. 여기서는 편의상 동시에 8비트의 디지털 데이터를 전송하는 경우를 예로 들어 설명하겠다.

그림 1에서 첫 번째 그림을 보면 매 일정한 시간 T 마다 펄이 전송되는 것을 알 수가 있다. 이 경우 8비트 전송의 경우 디지털 값 "00000000"이 전송되는 것으로 약속한다. 두 번째 그림의 경우 각각의 펄을 보면 두 번째 펄은 첫 번째 펄에 비하여 미소시간 δ 만큼 지연된 $T+\delta$ 시간 후에 전송된 것을 알 수가 있다. 이 경우의 디지털 데이터는 "00000001"에 해당한다. 세 번째 펄과 네 번째 펄은 각각 이전의 펄에 비하여 $T+2\delta$, $T+3\delta$ 이라는 시간 후에 전송되었는데, 이 경우의 디지털 데이터는 각각 "00000010"과 "00000011"에 해당한다. 마지막 그림의 경우 펄이 전송된 시간 간격은 각각 $T+10\delta$, $T+15\delta$, 그리고 $T+255\delta$ 임을 알 수가 있는데 이 경우 전송된 디지털 데이터는 각각 "00001010", "00001111", 그리고 "11111111"이다. 이와 같이 일반적인 FSK 방식에서 전송되는 펄의 간격을 조정함으로써 동시에 여러 비트의 디지털 데이터를 전송할 수가 있고, 그만큼 데이터 전송 속도를 개선시킬 수가 있다. 일반적으로 음향신호는 전파에 비하여 전송속도가 현저하게 늦기 때문에 넓은 대역폭의 데이터를 전송하기 어렵다. 이 경우 미소시간지연을 이용하여 한 개의 펄에 여러 비트의 디지털 데이터 정보를 삽입함으로써 데이터 전송 속도를 현저히 개선할 수가 있다. 이 경우 중요한 것은 시스템이 얼마나 짧은 미소시간 δ 을 구분할 수 있는냐 하는 분해능이다. 이 경우 마이크로프로세서의 타이머/카운터를 이용하고, 클럭의 속도를 높이면 매우 큰 분해능을 얻을 수가 있기 때문에 고속의 데이터 전송이 가능하다. 특히 수중통신에 있어서 최근 해저 데이터수집 등과 같은 응용에서 이미지를 전송해야 할 경우가 많으므로 고속 데이터 전송 기술이 절실히 요구된다. 이 경우 본 논문에서 제안하는 방법을 이용하면 동시에 여러 비트의 데이터를 전송함으로써 고속의 데이터 전송이 가능하며, 한 개의 펄에 매핑되는 디지털 데이터의 비트수가 증가함에 따라 펄 간의 평균 시간 간격이 늘어난다. 이와 같이 펄간의 간격이 늘어나면 넌코히어런트방식에서 속도 증가에 가장 큰 문제가 되는 다경로 현상 등으로 인한 ISI 문제를 해결하기 위해 필수적으로 필요로 하는 여유시간이 충분히 확보됨으로써 통신의 품질이 개선된다는 부가적인 장점이 있다. 또한 데이터 전송시 미소시간차 δ 의 크기를 줄일수록 더 빠른 통신이 가능하므로 타이머/카운터에 입력되는 클럭의 속도를 증가시킬수록 고속 전송을 할 수가 있다.

표 1은 8비트 데이터 전송 예에서 지연시간에 대한 디지털 데이터 값을 나타내는 것이고, 표 2는 16비트 전송 예에 대한 시간지연과 디지털 데이터의 관계를 나타낸 것이다. 표 1에서는 동시에 8비트를 전송하는 방식으로 이전에 수신된 신호에 비하여 기본 시간간격인 T 구간 이후에 전송되는

신호의 디지털 데이터는 "00000000"을 나타내고, 이전에 도달한 신호에 대하여 $T+255\delta$ 이후에 전송된 신호는 디지털 값 "11111111"을 나타낸다.

표 1. 8비트 전송의 예에서 디지털 데이터 값
Table 1. Digital data value at 8 bit transmission example

지연시간	디지털 값
T	0000 0000
$T+\delta$	0000 0001
$T+2\delta$	0000 0010
$T+3\delta$	0000 0011
$T+4\delta$	0000 0100
...	...
$T+253\delta$	1111 1101
$T+254\delta$	1111 1110
$T+255\delta$	1111 1111

표 2의 예에서 보면 이전에 도달한 신호에 비하여 T 이후에 전송된 신호는 16비트의 2진수 "0000000000000000"를 나타내고 $T+65,535\delta$ 이후에 수신된 신호는 16비트의 2진 값 "1111111111111111"를 나타낸다.

표 2. 16비트 전송의 예에서 디지털 데이터 값
Table 2. Digital data value at 16 bit transmission example

지연시간	디지털 값
T	0000 0000 0000 0000
$T+\delta$	0000 0000 0000 0001
$T+2\delta$	0000 0000 0000 0010
...	...
$T+253\delta$	0000 0000 1111 1101
$T+254\delta$	0000 0000 1111 1110
$T+255\delta$	0000 0000 1111 1111
...	...
$T+65,534\delta$	1111 1111 1111 1110
$T+65,535\delta$	1111 1111 1111 1111

III. 제안한 프로토콜과 기존 방식의 비교 분석

수중채널을 통하여 디지털 데이터를 전송하였을 때 임의의 시간 t 에서 수신기에 수신되는 신호 $v(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v(t) = \sum_n s_n h(t - nT) + n(t) \quad (1)$$

여기서 $\{s_n\}$ 은 전송된 신호의 디지털 신호들이고, $h(t)$ 는

전송펄스의 기본 형태이며, $n(t)$ 는 다양한 원인으로 인한 잡음, 그리고 T 는 2진 데이터를 포함하는 FSK 신호를 전송하는 시간 간격이다. 위 식에서와 같이 임의의 시간 t 에서 수신된 신호는 이전에 보낸 신호들과 채널의 임펄스응답의 컨볼루션 형태로 나타난다. 특히 천혜의 수중채널은 다경로 현상으로 인하여 수신된 신호가 매우 복잡하게 나타나기 때문에 통신을 하는데 많은 장애가 된다. 일반적인 넌코히어런트 방식에서는 다경로 현상으로 인한 ISI 때문에 펄스 사이에 충분한 여유시간을 주어야 한다[5]. 넌코히어런트방식으로 데이터를 전송할 경우 데이터의 전송률을 높이기 위하여 M-ary FSK를 이용한다[3]. 이 경우 전송하는 신호의 주파수 개수를 M개로 함으로써 전송률을 M 배로 높일 수가 있다. 본 연구에서 제안한 방법 역시 M-ary FSK와 마찬가지로 여러개의 주파수를 동시에 이용할 경우 그만큼 전송률이 높아진다. 여기서는 전통적인 넌코히어런트 방식과 본 연구에서 제안하는 알고리즘의 비교를 위하여 단일 FSK를 이용할 경우와 본 연구에서 제안하는 시간지연을 이용하는 방식의 전송속도를 비교해 보기로 한다.

초음파 트랜스듀스의 주파수를 40kHz로 하고, 한 개의 핑에 8사이클의 FSK 신호를 전송할 경우를 예로 들어보자. 이 경우 송신되는 핑의 구간은 0.2msec가 된다. 수중채널이 다채널이나 감쇄 등이 전혀 없다고 가정했을 경우 기존의 FSK방식으로 전송할 수 있는 최대 데이터율은 5kbps가 될 것이다. 다음은 본 논문에서 제안한 방법에서 전송률을 살펴보기로 하겠다. 이 경우 타이머/카운터의 입력 클럭을 16MHz를 사용하였고, 디지털 0에 해당하는 기본 지연시간을 기존의 FSK방식에서 디지털 데이터를 전송하는 속도와 같이 함으로써 여러 경우에 대하여 비교해 보겠다. FSK 방식에서 매 T 구간마다 디지털 데이터를 보낼 경우 전송률은 $1/T$ 가 된다. 본 연구에서 제안하는 시간지연을 이용하는 방식에서는 동시에 여러 비트(N비트)의 데이터를 전송하는데, 그 때 디지털 데이터의 값에 따라 데이터의 전송 속도가 달라진다. 이 경우 N비트의 디지털 데이터가 모두 0일 경우는 전송속도는 $1/T \times N$ bps이다. 반면 전송되는 N비트의 2진 데이터가 모두 1일 경우 전송속도는 다음과 같다.

$$1/(2^N/f_{osc} + T) \times N \quad (2)$$

여기서 f_{osc} 는 마이크로프로세서의 타이머/카운터에 입력되는 클럭의 주파수, T는 핑의 기본 전송구간, N은 동시에 전송하는 비트 수이다.

다음은 f_{osc} 를 16MHz로 하였을 경우의 여러 가지 경우에 대한 전송속도를 비교해 보기로 한다. 먼저 FSK에서 데이터 전송 주기와 본 연구에서 제안하는 방식에서 기본 주기 T를 0.2 msec에 대해서 비교해 보면 FSK에서는 전송속도가 5kbps가 된다. 본 연구에서 제안하는 시간지연을 이용한 데이터 전송방법에서 동시에 4비트의 데이터를 전송할 때의 전송률을 계산해 보면 다음과 같다. 먼저 4비트의 디지털 데이터가 모두 0일 경우 즉, "0000"을 전송할 경우의 전송속도

는 $1/(0.2 \text{ msec}) \times 4 \text{ bit} = 20 \times 10^3 \text{ bps}$ 가 된다. 또한 4비트의 디지털 데이터가 모두 디지털 1인 "1111"을 전송할 경우의 데이터 전송 속도는 다음과 같다.

$$1/\{2^4/(16 \text{ MHz}) + 0.2 \text{ msec}\} \times 8 = 37.037 \times 10^3 \text{ bps}$$

표 3. $f_{osc} = 16 \text{ MHz}$ 일 경우에 대한 전송률 비교

Table 3. Comparison of transmission rate when

$$f_{osc} = 16 \text{ MHz}$$

T (msec)	동시전송 비트수	모두0을보낼 경우(bps)	중간데이터를 보낼 경우(bps)	모두1을 보낼 경우(bps)
0.2	FSK	5,000	5,000	5,000
	4	20,000	19,950	19,900
	8	40,000	38,461	37,032
	12	60,000	36,585	26,315
0.5	16	80,000	7,117	3,724
	FSK	2,000	2,000	2,000
	4	8,000	7,992	7,984
	8	16,000	15,748	15,503
1	12	24,000	19,108	15,873
	16	32,000	6,279	3,481
	FSK	1,000	1,000	1,000
	4	4,000	3,998	3,996
1	8	8,000	7,936	7,874
	12	12,000	10,638	9,554
	16	16,000	5,249	3,139

표 4. $f_{osc} = 16 \text{ MHz}$ 일 경우 FSK를 기준으로 한 전송속도의 비교

Table 4. Comparison of transmission speed based on

$$\text{FSK when } f_{osc} = 16 \text{ MHz}$$

T (msec)	동시전송 비트수	모두0을보낼 경우	중간데이터를 보낼 경우	모두1을보낼 경우
0.2	FSK	1.0	1.0	1.0
	4	4.0	4.0	4.0
	8	8.0	7.7	7.4
	12	12.0	7.3	5.3
0.5	16	16.0	1.4	0.7
	FSK	1.0	1.0	1.0
	4	4.0	4.0	4.0
	8	8.0	7.9	7.8
1	12	12.0	9.6	7.9
	16	16.0	3.1	1.7
	FSK	1.0	1.0	1.0
	4	4.0	4.0	4.0
1	8	8.0	7.9	7.9
	12	12.0	10.6	9.6
	16	16.0	5.2	3.1

같은 방법으로 기본주기 T가 각각 0.2msec, 0.5msec, 1msec인 경우에 대하여 동시에 전송되는 비트 수를 각각 4, 8, 12, 16비트로 하였을 경우에 대하여 계산한 것을 표 3에 나타내었다.

표 3에서 기본주기 T를 0.2 msec로 하였을 경우를 보면 4비트 전송시 "0000"을 전송할 경우 전송속도는 20kbps, 중간 크기인 "1000"을 전송할 때는 19.95 kbps, 그리고 "1111"을 전송할 경우는 19.9kbps가 되어 FSK에 비해 약 4배 정도의 전송속도가 됨을 알 수가 있다. 동시에 8비트의 데이터를 전송할 경우 "00000000"은 40 kbps, "10000000"은 38.461 kbps, 그리고 "11111111"을 전송할 경우는 37.032 kbps를 보임으로써 7-8배의 전송속도를 보임을 알 수 있다. 그리고 12비트를 동시에 전송할 경우는 4~12배의 전송속도를 보이고, 16비트를 전송할 경우는 보내는 데이터에 따라 0.75~20배의 전송속도가 됨을 알 수 있다. 이 경우 디지털 데이터의 성격이 어떠한가에 따라 몇 비트로 전송하는 것이 효율적인지는 좀 더 면밀한 통계적인 분석을 요구한다.

표 4는 f_{osc} 를 16MHz로 하였을 때 FSK에서의 전송률을 기준으로 각각의 경우에 대한 전송속도 비를 나타낸 것이다. 여기서 보면 2진 데이터가 모두 0인 경우는 비트수를 높일수록 전송속도가 빨라지는 반면 2진 데이터가 모두 1인 경우는 기본주기 T에 따라 차이가 있다. 먼저 T가 0.2 msec일 경우는 8비트로 전송할 경우가 FSK보다 7.4배로 가장 빠르고, 0.5 msec일 경우는 12비트의 경우가 7.9배로 가장 빠르며, 1 msec의 경우 역시 12비트로 전송할 때가 9.6배로 가장 빠르다는 것을 알 수가 있다. 가장 큰 데이터(2진 데이터가 모두 1)와 가장 작은(2진 데이터가 모두 0) 데이터의 중간 값을 전송할 경우도 전송속도는 가장 큰 데이터를 전송한 경우와 유사한 속도로 전송속도가 높다는 것을 알 수가 있다.

표 5. $f_{osc} = 8MHz$ 일 경우에 대한 전송률 비교

Table 5. Comparison of transmission rate when $f_{osc} = 8MHz$

T (msec)	동시전송 비트수	모두0을보낼 경우(bps)	중간데이터를 보낼 경우(bps)	모두1을 보낼 경우(bps)
0.2	FSK	5,000	5,000	5,000
	4	20,000	19,900	19,801
	8	40,000	37,037	34,482
	12	60,000	26,315	16,853
	16	80,000	3,724	1,906
0.5	FSK	2,000	2,000	2,000
	4	8,000	7,984	7,968
	8	16,000	15,503	15,037
	12	24,000	15,873	11,857
	16	32,000	3,481	1,840
1	FSK	1,000	1,000	1,000
	4	4,000	3,996	3,992
	8	8,000	7,874	7,751
	12	12,000	9,554	7,936
	16	16,000	3,139	1,740

표 5는 f_{osc} 가 8MHz인 경우에 대한 전송률을 비교한 것이다. 여기서 기본 주기T를 0.2 msec로 하였을 경우 한 개

의 평에 8비트를 실어서 전송할 경우를 보면 2진수 "00000000"에 대해서는 40 kbps, 중간데이터인 "10000000"을 전송할 경우 37.037 kbps, "11111111"을 전송할 경우 34.482 kbps로 가장 빠른 전송속도를 보이고, 0.5 msec일 경우에도 8비트인 경우가 비교적 양호한 전송률을 나타내고 있다. 그리고 T가 1 msec인 경우는 12비트 단위로 전송할 경우가 비교적 양호한 전송률을 보이고 있다.

표 6. $f_{osc} = 8MHz$ 일 경우 FSK를 기준으로 한 전송속도의 비교

Table 6. Comparison of transmission speed based on FSK when $f_{osc} = 8MHz$

T (msec)	동시전송 비트수	모두0을보낼 경우	중간데이터를 보낼 경우	모두1을보낼 경우
0.2	FSK	1.0	1.0	1.0
	4	4.0	4.0	4.0
	8	8.0	7.4	8.7
	12	12.0	5.3	3.4
	16	16.0	0.7	0.4
0.5	FSK	1.0	1.0	1.0
	4	4.0	4.0	4.0
	8	8.0	7.8	7.5
	12	12.0	7.9	5.9
	16	16.0	1.7	0.9
1	FSK	1.0	1.0	1.0
	4	4.0	4.0	4.0
	8	8.0	7.9	7.8
	12	12.0	9.6	7.9
	16	16.0	3.1	1.7

표 6은 T가 각각 0.2 msec, 0.5 msec, 1 msec인 경우에 대하여 4, 8, 12, 16비트 전송시 FSK의 속도를 기준으로 한 전송속도 비를 나타내고 있다. 이것을 볼 때 f_{osc} 가 8 MHz일 경우에도 본 연구에서 제안한 방식이 기존의 FSK 방식에 비하여 대략 7.5-8배 정도로 전송 속도가 개선되는 것을 알 수가 있을 것이다.

IV. 결론

수중 천해에서 다경로 현상이나 각종 감쇄, 도플러 효과 등으로 인해 전송신호의 왜곡이 심한 경우에 장거리 디지털 전송에 많이 사용하는 넉코더터넷 전송방식에서 디지털 데이터의 전송 속도를 개선시킬 수 있는 통신 프로토콜을 제안하였다. 이 제안한 프로토콜에서 타이머/카운터의 입력 주파수가 16MHz와 8MHz인 경우 각각에 대하여 평당 전송하는 데이터 비트와 기본전송 주기 T를 변경해 가면서 기존 FSK 방식에서와 제안한 프로토콜 사이의 전송률을 비교해 보았다. 본 연구에서 제안한 프로토콜은 동시에 전송되는 여러 비트의 2진 데이터에 대한 디지털 값에

따라 전송속도가 가변적이지만 전체적으로 디지털 패킷 데이터를 전송하는데 걸리는 시간은 기존의 FSK를 이용할 경우에 비하여 8배 이상의 속도 개선이 있음을 알 수 있었다. 하지만 타이머/카운터의 입력 클럭 주파수와 기본 전송주기 T, 그리고 동시에 전송되는 비트수에 따른 정확한 전송속도 분석은 통계적인 분석을 요구함으로 앞으로 좀 더 연구를 해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] J. C. Jones, A. Di Meglio, N. Aid, A. Sanchez and L. S. Wang, "The Use of Digital Signal Processors in Underwater Communication Systems," IEE Colloquium on Volume , Issue , 24 Sep 1997 p. 1204-1209, 2001.

[2] Jin-Ki Yeo, Young-kon Lim, Heung-Ho Lee, "Modife MAC(Media Access Control) Protocol Design for the Acoustic-based Underwater Digital Data Communication," ISIE 2001, Pusan, Korea, pp.364-368, 2001.

[3] Yinghui, Stephen O Harrold, and L. F. Yeong, "Experimental Study on Ultrasonic Signal Transmission within the Water-filled Pipes," 4th Annual Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP '97),, pp.93-98,1997.

[4] Robert S. H. Istepanian, Milica Stojanovic ,*Underwater Acoustic Digital Signal Processing and Communication Systems*, Kluwer Academic Publishers, 2002.

[5] Daniel B.Kilfoyle and Arthur B. Baggeroer, "The State of the Art in Underwater Acoustic Telemetry," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 25, No. 1, pp.4-27,January 2008.

[6] Milica Stojanovic, Josko A. Catipovic, and John G. Prokis, "Phase-Coherent Communications for Underwater Acoustic Channels," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 19, No. 1, pp. 100-111, January 1994.

[7] Y. Choi, S. Kim, J. Park, Y. Lim, H. Ko, "A Digital Acoustic Transceiver for Underwater Communication without PLL and DLL," OCEANS 2003. Proceedings, 2003, pp.1781-1785.

[8] M. Stojanovic, J. Catipovic and J.Gi.Proakis, "An Algorithm for Multichannel Coherent Digital Communications Over Long Range Underwater Acoustic Telemetry Channels," OCEANS '92. 'Mastering the Oceans Through Technology'. Proceedings, Oct 1992, pp.577-581

[9] Xueyi Geng, Adam Zielinski, "An eigenpath underwater acoustic communication channel model," OCEANS '95. MTS/IEEE. Challenges of Our Changing Global Environment. Conference Proceedings, Oct. 1995, pp. 1189-1196.

[10] F. Nickols, D. Ho, S.O. Harrold, R.T. Bradbeer, L. Yeung, "An ultrasonically controlled robot submarine for pipe inspection," Mechatronics and Machine Vision in Practice, 1997. Proceedings., Fourth Annual Conference on, Sept. 1997, pp.142-147.

[11] Milica Stojanovic, "Recent Advances in High-speed Underwater Acoustic Communications, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 21, No. 2, pp.125-136, April 1996.

[12] Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," Ad Hoc Networks 3 (2005) pp.257-279.



윤병우 (Byung-woo Yoon)

1980. 3 - 1987. 2 부산대학교 전자공학과 졸업
 1987. 3 - 1989. 2 부산대학교 전자공학과 공학석사
 1989. 3 - 1992. 2 부산대학교 전자공학과 공학박사
 1993. 5 - 1995. 3 ETRI 신호처리연구실 선임연구원
 1995. 3 - 현재 경성대학교 전기전자공학전공 교수
 2001. 8 - 2002. 7 미국 콜로라도주립대학 방문교수
 2008. 3 - 2009. 2 미국 노스캐롤라이나주립대학 방문교수