

# 이동로봇의 시각센서를 위한 동영상 압축기 구현

김형오\*, 조경수#, 백문열\*\*, 기창두\*\*\*

## Implementation of Visual Data Compressor for Vision Sensor of Mobile Robot

Hyung O Kim\*, Kyoung Su Cho#, Moon Yeal Baek\*\* and Chang Doo Kee\*\*\*

### ABSTRACT

In recent years, vision sensors are widely used to mobile robot for navigation or exploration. The analog signal transmission of visual data being used in this area, however, has some disadvantages including noise weakness in view of the data storage. A large amount of data also makes it difficult to use this method for a mobile robot.

In this paper, a digital data compressing technology based on MPEG4 which substitutes for analog technology is proposed to overcome the disadvantages by using DWT(Discrete Wavelet Transform) instead of DCT(Discrete Cosine Transform). The TI Company's DSP chip, TMS320C6711, is used for the image encoder, and the performance of the proposed method is evaluated by PSNR(Peake Signal to Noise Rates), QP(Quantization Parameter) and bitrate.

**Key Words** : Mobile robot(이동로봇), Vision sensor(시각센서), MPEG-4(Motion picture experts group), DWT(Discrete wavelet transform), IDWT(Inverse discrete wavelet transform)

### 1. 서론

극한의 환경에서 작업하는 수중로봇이나 우주 탐사로봇, 그리고 최근 관심이 증대되고 있는 서비스 로봇들에 전반적으로 장착되는 센서중 하나가 바로 시각센서이다. 이처럼 많은 로봇에 시각센서가 장착되는 이유는 로봇을 조작하는 오퍼레이터가 정보를 분석할 때 초음파 센서나 레이저파인더와

같은 센서들에 비해 훨씬 효과적이기 때문이다.<sup>1,2</sup>

지금까지 사용되고 있는 많은 시각센서는 아날로그 방식을 통하여 원격지의 오퍼레이터에 정보를 전달하는데, 이 경우 여러 가지 단점들로 인하여 정보 손실이 발생하게 된다.

본 논문에서는 이러한 단점을 줄이기 위하여 디지털 방식의 시각센서에 동영상 압축 기술인 MPEG-4표준의 접목을 제안하고, 이 방안을

접수일: 2003년 11월 10일; 게재승인일: 2005년 7월 8일

\* 전남대학교 기계공학과 대학원

# 전남대학교 기계공학과 대학원

E-mail joks0412@hanmail.net Tel. (017) 610-8897

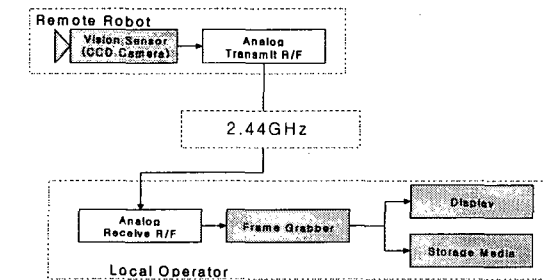
\*\* 경기공업대 자동차과

\*\*\* 전남대학교 기계시스템 공학부

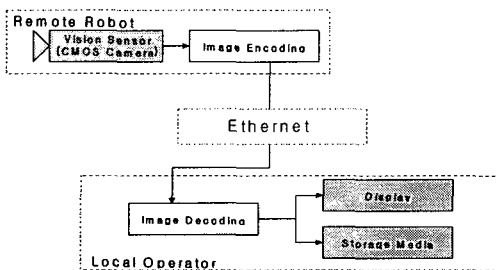
TMS32-0C6711 DSP 칩에 구현하여 모듈형태로 로봇에 사용될 수 있도록 하였다. 부호기(Encoder)의 성능평가는 이서넷(Ethernet) 기반의 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 원격지에서 영상정보를 받아 처리하는 실험을 수행하였다.<sup>3,5</sup>

## 2. 이동 로봇의 비전센서

기존의 탐사 로봇이나 서비스 로봇에 장착되는 비전 시스템은 Fig. 1의 (a)와 같이 CCD카메라로부터 입력된 화상을 아날로그 R/F모듈을 이용하여 원격지의 오퍼레이터에 전송하고, 프레임 그라버(Frame-grabber)를 이용하여 디지털 영상으로 변환하여 사용하고 있다. 그러나 아날로그 신호로 전송할 때 발생하는 문제점은 전송 시 노이즈에 매우 취약하다는 것이다. 또한 원격지의 오퍼레이터가 수신된 데이터를 저장하려는 경우 아날로그 저장매체의 특성상 많은 저장 공간이 필요하게 되고, 재사용 시 많은 검색시간을 요구하게 된다.



(a) The analog vision system



(b) The digital vision system

Fig. 1 Schematic diagram of vision system

본 논문에서는 Fig. 1의 (b)와 같이 CMOS카메라에 입력된 화상 데이터를 영상 부호화기에서 압축하여 이서넷 모듈로 전송하는 시스템을 제안하였다.

이와 같이 디지털 방식을 이용하여 데이터를 전송하면, 영상 데이터가 노이즈에 노출 되어도 자기 보정이 가능하게 되며, 자료를 저장할 때도 디지털 영상을 압축하여 저장하므로 아날로그 방식에 비해 적은 공간을 차지하게 된다.

## 3. 동영상 압축 표준

본 논문에서 제안한 영상압축 기술에 활용된 MPEG-4는 다음과 같은 특징이 있다.

### 3.1 MPEG-1표준과 MPEG-2표준

1988년부터 ISO/IEC JTC1의 작업그룹(WG11, Working group 11)에서는 통신, 가전 및 컴퓨터 분야의 세계적인 전문가들이 모여 디지털 저장 매체(DSM, Digital storage media)를 위한 동영상 부호화 표준(MPEG, Moving Picture Experts Group)을 만들기 시작하였으며, 이 활동의 첫 결실인 MPEG-1표준은 1993년에 국제 표준(IS, International standard)으로 채택되었고, 1995년에 MPEG-2표준을 제정하였다.

### 3.2 MPEG-4표준

MPEG-4 표준은 기존의 H.261표준, JPEG표준, MPEG-1 및 MPEG-2표준에서 사용하는 블록 단위의 변환 부호화방법에서 탈피하여, 영상 내용에 근거하여 영상 신호를 부호화하는 새로운 방법을 추구하고 있다. MPEG-1과 MPEG-2표준 방식은 압축률을 높여 빠른 전송을 하는데 중점을 둔 반면, MPEG-4표준 방식은 64Kbps 급의 초저속, 고 압축률 실험을 목적으로 하고 있다.<sup>6</sup>

## 4. MPEG-4 비주얼 부호화 기법

MPEG-4 방식이란 디지털 AV정보를 처리하고 전달하기 위해, 기존의 표준 방식들과는 다른 새로운 기법들을 지원할 목적으로 최근에 작업하기 시작한 부호화 표준 방식을 총체적으로 일컫는다.

MPEG-4는 기존의 H.263 및 MPEG-1과는 다르

계 객체(Visual Object)개념을 도입하여 압축을 하게 되어 있다.<sup>6</sup> 본 논문에서는 장면 전체를 하나의 객체로 보고 압축을 하도록 하였으며, 압축률에서 화질 열화를 줄이기 위하여 Fig. 2와 같이 이산 여현 변환(DCT, Discrete cosine transform) 대신에 이산 웨이블릿 변환(DWT, Discrete wavelet transform)를 사용하였다.<sup>7</sup>

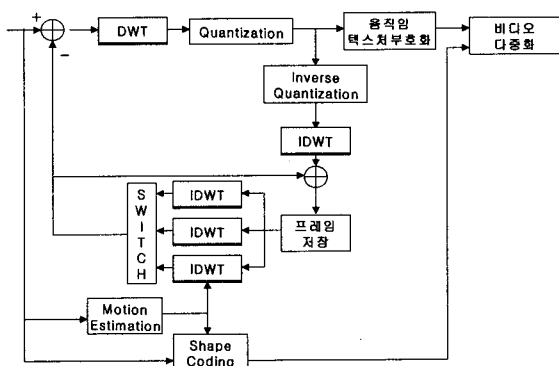


Fig. 2 Block diagram of MPEG-4 video encoder

### 4.1 이산 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환의 기본 개념은 임의의 함수를 시간-주파수 영역에서 동시에 국부성을 갖는 웨이블릿 기저함수의 선형 결합으로 표현하는 것이다. 웨이블릿 변환에서 기저함수들은 원형 웨이블릿 함수  $\psi(x)$ 의 확장(dilating) 및 천이(translation)에 의해 생성된다.

웨이블릿 변환의 일반적인 수식은 다음의 식 (1)와 같이 정의된다.

$$v_i = \psi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \quad (1)$$

여기서,  $\psi_{a,\tau}(x)$ 는 원형 웨이블릿 함수인  $\psi(t)$ 을 확대 또는 천이에 의해 구해지며, 매개 변수  $a$ 는 스케일 변수이고  $\tau$ 는 천이변수이다.

어떤 벡터공간에서 임의의 신호  $x(t)$ 는 벡터  $x$ 로 표현되고 이는 다른 벡터들의 합과 스칼라 곱에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다

$$x = \sum_i c_i v_i, \quad c_i \in R, \quad i \in I \subseteq Z, \quad x, v_i \in L^2(R) \quad (2)$$

여기서,  $R$ 은 실수 집합을 의미하고  $Z$ 는 정수 집합,  $I$ 은 정수 집합의 부분집합을 의미한다.

만일 기저 함수가 식 (3)과 같이 정규 직교한다면

$$\langle v_i, v_j \rangle = \begin{cases} 1; & i=j \\ 0; & i \neq j \end{cases} \quad (3)$$

계수 집합  $\{c_i \in R\}$ 는 신호  $x$ 의 기저 함수 집합  $\{v_i; i \in I\}$ 으로의 정규 직교 사영으로 얻을 수 있다. 즉 웨이블릿 변환은 다음의 식 (4)로 정의할 수 있다.

$$c_i = \langle x, v_i \rangle \quad (4)$$

실제로 디지털 시스템에서 입력되는 신호는 이산 신호이며, 따라서 웨이블릿 역시 표본화 주기  $T_s$ 에 따라 이산화 되어야 한다. 따라서 식 (1)의 매개 변수  $a, \tau$ 는  $j, k$ 로 이산화 되는데 이 경우의 웨이블릿 변환을 이산 웨이블릿 변환이라고 한다.

이산 입력신호  $x = (x[0], x[1], \dots, x[n], \dots, x[N-1])$ ,  $x[n] \in R, n \in Z, i=0, 1, 2, \dots, N-1$  그리고,  $N = T/T_s$ 이라면 신호  $x$ 는 벡터 공간  $R^N$ 에 속한다고 할 수 있으며, DWT의 기저 함수 역시  $R^N$ 에 포함된다. 따라서 DWT의 기저 함수인  $\psi_{a,\tau}(t)$ 의 값들은 매개 변수  $a, \tau$ 와 시간  $t$ 를 표본화(sampling)하여 얻어지며 식 (5)과 같이 표현된다.

$$v_{j,k}[n] = \psi_{j,k}[n] \quad (5)$$

그리고 식 (4)는 다음과 같이 이산화 된다.

$$\langle x, v_{j,k} \rangle = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \psi_{j,k}[n] \quad (6)$$

매개 변수  $j, k$ 의 범위는 보통 다음과 같이 정의된다.

$$0 \leq k < 2^{-j}N, \quad 0 \leq j \leq J (J \leq \log_2 N)$$

그런데,  $j > J$ 인 성분만을 필요로 하기 때문에 새로운 기저 함수를  $\phi_{j,k}$ 로 정의하며, 이는  $j > J$ 인 웨이블릿 성분을 나타낸다. 이 신호는  $x[n]$ 의 스케일이 변화된 표현이므로 scaling 신호라고 불리우며 저주파 성분에 대응된다.

요약하면, forward DWT(편의상 DWT)의 식은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 d_{j,k} &= \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \psi_{j,k}[n], \\
 c_{j,k} &= \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \phi_{j,k}[n]
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

식 (7)에서 Detail 계수  $d_{j,k}$ 은 입력 신호  $x[n]$ 의 고주파 성분이며, Coarse 계수  $c_{j,k}$ 는  $x[n]$ 의 저주파 성분이다. DWT의 계수  $d_{j,k}$ 와  $c_{j,k}$ 의 개수는 입력 신호의 개수와 동일한  $N$ 개이다. inverse DWT의 식은 (8)과 같이 정의된다.<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}
 x[n] &= \sum_{j=1}^J \sum_{k=0}^{2^{j-1}N-1} d_{j,k} \psi_{j,k}[n] \\
 &+ \sum_{k=0}^{2^{j-1}N-1} c_{j,k} \phi_{j,k}[n]
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

#### 4.2 이산 웨이블릿 변환을 이용한 영상압축

영상압축에서 많이 사용되어온 DCT에 기반을 둔 압축 기술은 한 개의 영상을 여러 개의 블록으로 나누어 처리하게 되는데, 이 때문에 Block artifact와 같은 블록 손실이 발생하게 된다. 그러나 DWT를 이용한 압축 기술은 영상 전체에 대해 압축을 수행하기 때문에 DCT의 이러한 문제를 근본적으로 해결할 수 있다. 본 논문에서는 DWT를 영상압축에 그대로 적용시켜 블록손실을 줄일 수 있고, 영상 복원시에도 DCT에 비해 화질이 개선됨을 보여주려고 한다.

DWT는 입력영상  $I(x, y)$ 에 대해 행 방향으로 저대역 통과 필터와 고대역 통과 필터를 각각 적용하여  $L(u, v)$ 와  $H(u, v)$ 를 생성하고, 생성된  $L(u, v)$ 와  $H(u, v)$ 에 대해 다시 열 방향으로 저대역 통과 필터와 고대역 통과 필터를 각각 적용하여  $LL(u, v)$ ,  $LH(u, v)$ ,  $HL(u, v)$ ,  $HH(u, v)$ 에 해당하는 영상을 얻는다. 첫 번째 수행결과를 분해 레벨 1에 해당되며, 분해 레벨 2는 앞 과정에서 생성된  $LL(u, v)$ 에 위의 과정을 반복함으로써  $LL2(u, v)$ ,  $LH2(u, v)$ ,  $HL2(u, v)$ ,  $HH2(u, v)$ ,  $LH(u, v)$ ,  $HL(u, v)$ ,  $HH(u, v)$ 의 영상을 얻게 되고, 분해 레벨 3은  $LL2(u, v)$ 에 다시 이 과정을 반복 적용하여 구한다. Fig. 3은 이러한 DWT 과정을 도식화하여 보여주고 있다.

Fig. 4는 3단계 DWT를 적용한 영상을 나타낸 것이다. 먼저 원영상에 대해 1단계 DWT를 수행하면 LL1, HL1, LH1, HH1 밴드의 영상을 얻게 되는데, HH1은 대각선 방향의 에지 영상을 가지며, HL1은 수직방향의 에지영상, LH1은 수평방향의 에지영상, LL1은 해상도만 줄어든 영상을 각각 갖게 된다. 이와 같은 과정으로 2단계, 3단계 DWT를 반복 적용한다.

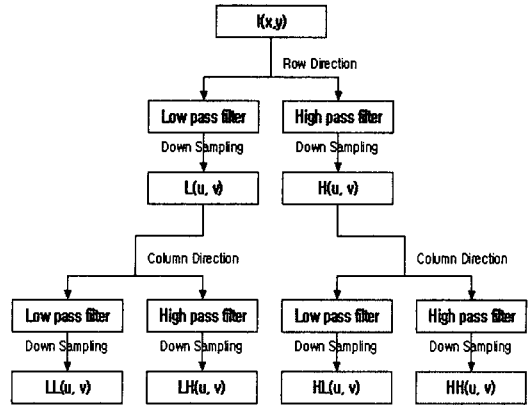


Fig. 3 Block diagram of DWT

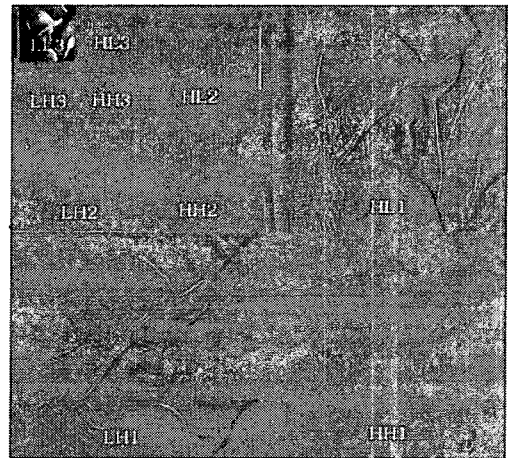


Fig. 4 Result image of 3-level DWT

Table 1은 DWT의 레벨에 따른 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)표이다. 여기서 PSNR은 영상처리 학회에서 50dB를 원영상으로 설정해놓은 화질 측정단위이다. 일반적으로 PSNR 30dB에서 화질이

1.0dB 증가할 때마다 화질의 개선상태를 육안으로 구분할 수 있게 된다. SNR(Signal to Noise Ratio)은 원영상과 영상압축에서 복원된 영상을 비교하여 두 영상의 화질이 얼마나 비슷한가를 수치(dB)로 알아 보는 것으로, dB가 높을수록 복원된 영상의 화질이 원영상과 비슷하다는 것을 의미한다. 레벨이 증가함에 따라 PSNR은 높아지지만, 연산량이 증가하여 속도가 늦어지게 되어, 일반적으로 레벨 4정도를 유지하게 된다.

Table 1 Goldhill(512×512)-PSNR

Level	PSNR
1	52.7dB
2	48.5dB
3	45.6dB
4	41.9dB
5	39.2dB
6	24.7dB

5. DSP를 이용한 MPEG-4구현 및 실험

5.1 DSP를 이용한 MPEG-4구현

본 연구의 실험에 사용된 DSP 보드는 TI(Texas Instruments)사의 TMS320C6711 DSK 보드인데, 이 보드는 150MHz로 동작하는 32비트 부동소수점 디지털 신호 처리기이다.

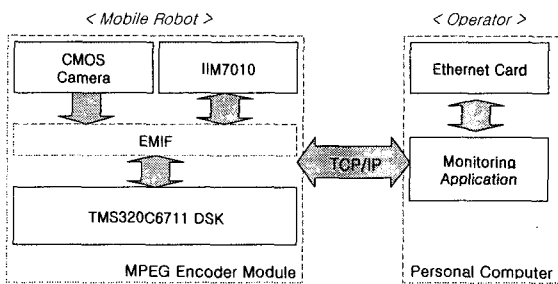


Fig. 5 Schematic diagram of experimental apparatus

실험 장치의 구성은 Fig. 5와 같이 이동로봇 부분과 운영자 부분으로 되어 있다. 이동 로봇 부분은 CMOS 카메라, 이서넷 포트(IIM710), 그리고 DSP 모듈로 이루어져 있으며, 운영자 부분은 PC를 이용해 모바일 로봇과 통신이 가능하도록 하였다.

실험은 이동 로봇 측의 MPEG-4표준 방식의 부호화기 모듈에서 압축되어진 동영상 스트리밍이 TCP/IP를 이용하여 운영자 측의 PC로 오류 없이 전송되어지는가의 여부와, 이 때 압축되어진 이미지의 압축률과 화질의 개선상태를 분석하는 순서로 행해졌다. Fig. 6은 운영자 측의 모니터링 프로그램이며, 실험에 사용된 화상의 크기는 QCIF(Quarter Common Intermediate Format)이다.

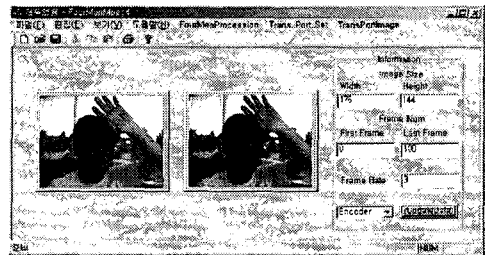


Fig. 6 Monitoring program for an operator

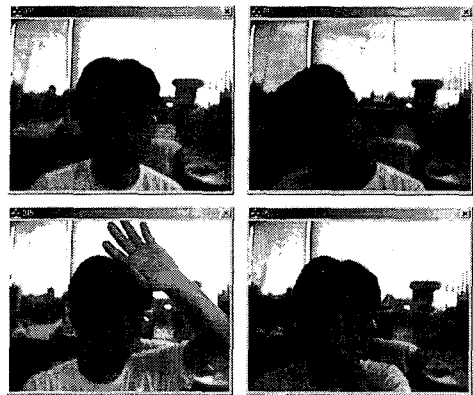


Fig. 7 Images for experimental test

본 실험에서는 Fig. 7과 같은 자연영상으로서, 사람의 움직임같이 프레임간의 변화가 큰 부분과 사람 뒤의 배경같이 변화가 적은 부분이 섞여 있는 QCIF 크기의 이미지 100프레임을 압축하여 사용하

였다. 동영상(YUV420)의 원래 크기는 3,801,600Byte인데 압축 결과 24,404Byte의 크기가 되었으며, 약 156:1의 압축률을 얻었다.

Fig. 8에서 실선은 PSNR을, 파선은 입력으로 들어온 비트를 이용하여 수행할 다음 화면의 양자화 레벨(QP, Quantization parameter)를, 점선은 그 화면의 압축된 비트율을 각각 나타낸다. 그래프에서 보듯이 PSNR값이 항상 35dB이상의 화질을 제공하고 있음을 보여주며, 양자화 레벨도 안정화를 이루고 있음을 확인할 수 있다.

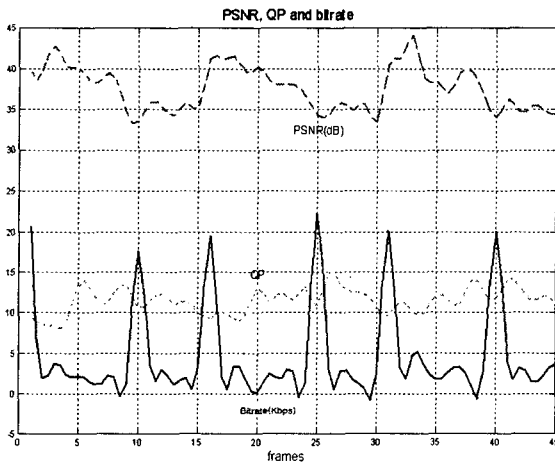


Fig. 8 PSNR, QP and bitrate

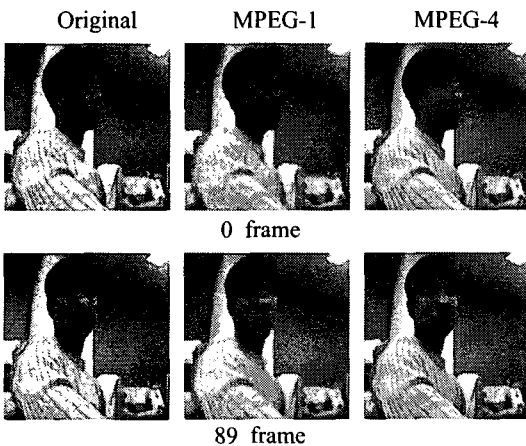


Fig. 9 Experimental results of images

동영상 데이터의 전송은 TCP/IP를 사용하였기 때문에 에러율은 거의 없었으나, 전송되는 속도는

이서넷 선로의 상태에 따라 많은 차이가 발생하였다. Fig. 9은 동일한 비트율에서 높은 압축율로 압축하였을 때 기존의 DCT로 압축한 MPEG-1의 결과와 DWT로 압축한 MPEG-4의 결과를 보여주고 있다.

실험결과에서 볼 수 있듯이 MPEG-1을 이용하여 압축한 영상은 DCT의 영향으로 블록 손실이 심하게 나타나는 것을 알 수 있지만, DWT를 사용한 MPEG-4의 압축 결과는 MPEG-1에 비하여 비교적 블록 손실이 적게 나타남을 알 수 있다. Fig. 10은 물체의 움직임이 비교적 크게 일어났던 89 프레임에서 얼굴 부분만을 2배 확대하여 비교한 그림이다. MPEG-1의 결과에 비하여 MPEG-4의 영상이 확연히 좋은 것을 확인할 수 있다.

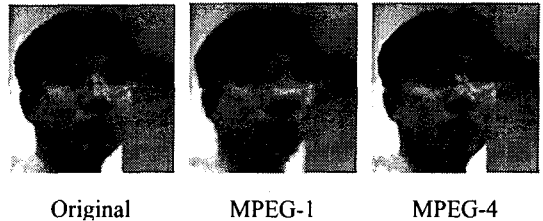


Fig. 10 An enlarged image of face in 89 frame

## 5.2 비트율 제어 실험

비트율 실험은 일정 비트율에서 각 화면의 양자화 레벨, 화면의 비트율, 그리고 화면의 화질을 나타내는 PSNR의 상관 관계를 살펴보는 것이다. 일반적으로 PSNR 30dB에서 화질이 1.0dB 정도 증가할 때마다 화질 개선효과를 육안으로 확연하게 구분할 수 있으며, 양자화 레벨은 최대값이 31dB로서 그 값이 일정 이상 커짐에 따라 화질 열화가 심해진다고 알려져 있다.<sup>8,9</sup>

실험에서 대상으로 한 입력 이미지는 물체는 정지해 있고 카메라를 좌우로 천천히 움직이면서 획득한 영상이다. 비트율은 PSTN(Public Switched Telephone Network)망의 MODEM(MODulator-DEModulator)을 기준으로 56Kbits/sec를 유지하였고, 프레임율은 초당 8프레임(8 frame/sec)을 대상으로 하였다.

MPEG은 GOP(Group of pictures)라는 형태로 되어 있으며, I(Index frames)프레임, B(Bi-directional frames)프레임, P(Predicted frames)프레임으로 구성된다. I프레임은 지표(Index)가 되는 프레임으로 한

프레임의 완벽한 데이터를 가지고 있다. P프레임은 현재의 프레임과 바로 직전의 프레임에서 중첩되지 않은 데이터와 중첩된 데이터의 이동혼적에 관한 데이터를 가지고 있다.

다음의 각 그래프에서 점선은 양자화 레벨을, 실선은 화면의 인코딩된 비트율(단위: Kbits)을, 그리고 파선은 PSNR을 나타낸다.

### 5.2.1 1개의 I프레임과 2개의 P프레임 배열인 경우

1개의 I프레임과 2개의 P프레임으로 이루어져 있는 경우(IPPIPIPIPI...), Fig. 11에서 보듯이 비트율이 목표 값인 56Kbits를 넘지 않게 하기 위해 양자화 레벨을 크게 증가시키기 때문에, PSNR은 29dB 부근의 값을 갖는다. 그러나 이 정도의 화질에서는 사람이 거부감을 느낄 수 있다.<sup>10</sup>

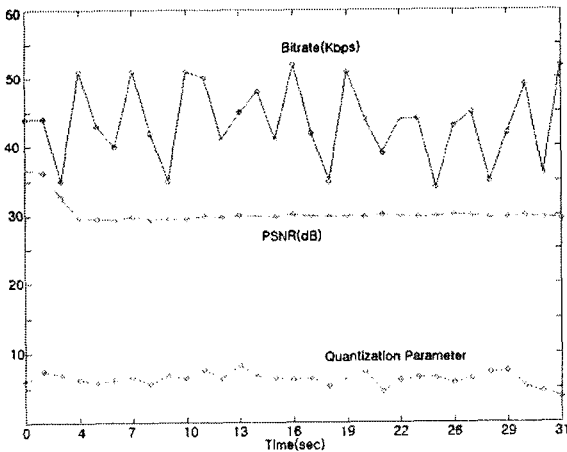


Fig. 11 Result graph for 2 P frames

### 5.2.2 1개의 I프레임과 8개의 P프레임 배열인 경우

1개의 I프레임과 8개의 P프레임으로 이루어진 경우(IPPPPPPIPIPI...), Fig. 12에서 앞의 경우보다 훨씬 나은 결과임을 알 수 있다. PSNR은 32dB ~ 37dB 사이의 값으로, 어느 정도 양질의 화질임을 나타내나, 만족할만한 수준은 아니다.

### 5.2.3 1개의 I프레임과 14개의 P프레임 배열인 경우

1개의 I프레임과 14개의 P프레임으로 이루어

진 경우(IPPPPPPIPIPI...), Fig. 13에서 PSNR 값이 33dB이상의 화질이 제공되며, 평균값도 34dB이상의 비교적 양호한 편이다. 양자화 레벨도 평균적으로 4.47 정도 되며, 최대 레벨이 6.6으로 비교적 안정된 상태를 이루고 있다.

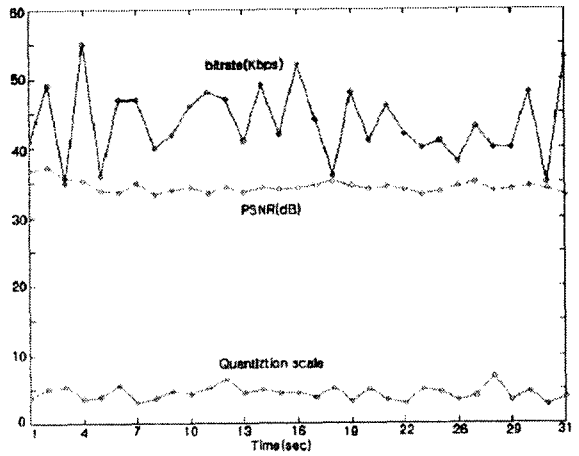


Fig. 12 Result graph for 8 P frames

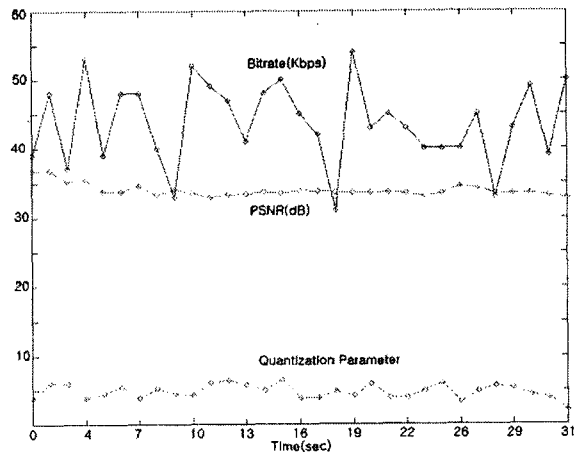


Fig. 13 Result graph for 14 P frames

### 5.2.4 1개의 I프레임과 30개의 P프레임 배열인 경우

1개의 I프레임과 30개의 P프레임으로 이루어진 경우(IPPPPPPIPIPI...), Fig. 14에서 알 수 있듯이 PSNR은 평균적으로 34.89dB로서 이전의 결과와 비교하여 크게 나아지지 않았지만, PSNR의 표준편차

는 이전의 0.91dB에서 0.81dB로 크게 안정되었다. 양자화 레벨도 평균적으로 4.31정도로 이전의 결과와 비교하여 보다 안정되었다.

위의 실험결과에서, I프레임 사이에 들어가는 P프레임의 수가 증가함에 따라 압축효율의 증가와 함께 좋은 화질을 얻을 수 있었다. 그러나 P프레임의 수가 일정 이상을 초과하는 경우에는 그 수가 증가하더라도 화질에 별로 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있다.

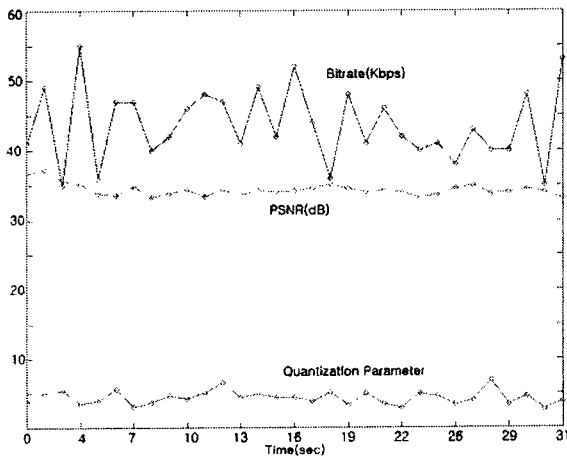


Fig. 14 Result graph for 30 P frames

## 6. 결론

본 연구에서는 최근 관심이 높아지고 있는 MPEG-4를 사용하여 이동 로봇의 비전센서용 동영상 압축 모듈을 개발하였다. 높은 압축률에서 영상의 화질 열화를 감소시키기 위해 DCT 대신에 DWT를 영상 압축에 사용하였다. 실험결과 TMS320C6711 DSK 상에서 QCIF 영상의 압축률 증가와 더불어 만족할만한 화질개선의 결과를 확인하였다. 동영상 스트리밍의 전송은 전송로의 프로토콜인 TCP/IP의 고유 특성 때문에 실시간 전송에 다소 어려움이 있었다.

## 후기

본 연구는 2002년도 전남대학교 BK21 사업에 의해 지원되어 수행되었으며, 지원에 대해 깊은 감사사를 드립니다.

## 참고문헌

1. Lee, J.S., Lee, P.M., Lee, C.M., Hong, S.W., "A Study on Development of 300m Class Underwater ROV," J. of Ocean Engineering and Technology, Vol. 6, pp. 50-61, 1994.
2. Marco, D.B., Healey, A.J., "Current Developments in Underwater Vehicle Control and Navigation: The NPS ARIES AUV," Proceedings of IEEE Oceans, Providence, RI, 2000.
3. TMS320C6X C Optimizing C Compiler User's Guide(literature number SPRU187).
4. TMS320C62X/C67X Programmer's Guide(literature number SPRU198).
5. TMS320C62X/67X CPU and Instruction Set Reference Guide(literature number SPRU189).
6. ISO/ISE JTC1/SC29/WG11 N998, MPEG-4 Proposal Package Description (PPD), Revision 3, July 1995.
7. Armein, Langi, "Wavelet and fractal processing and compression of nonstationary signals," Ph. D. Thesis, Dept. of Electrical and Computer Engineering, U. of Manitoba, Canada, Feb. 1996.
8. Sadka, A.H., "Compressed Video Communications," Wiley, 2002.
9. Puri, A., Chen, T., "Multimedia systems, standards and Networks," Marcel dekker, 2000.
10. Watkinson, John, "The MPEG handbook," Focal press, 2001.