

實時間 映像處理 시스템 構成에 관한 研究

A Study on Architecture of Real Time Image Processing System

白 南 七* · 禹 東 玟** · 金 榮 日*** · 崔 浩 顯****

(Nam-Chil Paik · Dong-Min Woo · Young-Il Kim · Ho-Hyun Choi)

요 약

本 PC-Vision 시스템은 512*512*8 비트의 畫素로 構成된 映像으로서 디지털타이징, 프레임의 저장, 디스플레이 및 여러가지의 영상처리가 可能한 實時間 映像處理 시스템이다. VME 버스와 호환적인 高性能의 映像處理 시스템을 추구하는 사용자에게 多用途의 解決을 제공해주며 머신비전, 의료용, 방송통신 및 기타분야의 多樣한 task에 대해 매우 효율적인 범용 영상처리 시스템이다.

本 論文에서는 영상처리기술을 크게 영상의 강조, 영상의 복원, 영상의 해석 및 영상의 코우딩으로 分類하고, 시스템의 設計및 具現을 위해서 영상의 強度와 영상 解釋에 대해서 논하였다.

또한 處理速度를 빠르게 하기 위해서 ROI 프로세싱 방식을 채택한 본 시스템은 일반적인 算術 論理 演算뿐만 아니라 映像의 포인트 오퍼레이션, 로우컬 오퍼레이션 및 그로우발 오퍼레이션을 實時間으로 수행하는 매우 강력한 映像處理 시스템이다.

Abstract- This pc-vision system digitizes/displays 512*512*8 bit pixel image in real time and is capable of the various image processing. This system provides a versatile solution to those users pursuing high performance image processing system compatible with the VME bus, and is general purpose imaging system giving the optimal efficiency for machine vision, medical use and various task. In this paper, Image processing technique has classified image enhancement, image restoration, image analysis and image coding, and has described image enhancement and image analysis in order to design and implement the pc-vision system. In order to improve processing speed, This system utilizing ROI processing performs point operation, local operation and global operation as well as common arithmetic / logic operation in real time.

1. 序 論

디지털 映像處理은 컴퓨터가 認識할 수 있는 코우드로 변환하기 위하여 원하는 物體의 映像을 디지털 信號로 變換하고, 컴퓨터를 이용한 적절한 信

號處理에 의해 映像을 再構成하여, 人間이 보다 쉽게 볼 수 있도록 해준다. 일반적으로 디지털 영상 처리는 영상에서 영상으로의 변환과 영상에서 데이터로의 변환 등 두가지로 分類되며 사용자는 원하는 映像을 강조하거나 해석, 분리 및 認識을 한다.¹⁾

文字認識, 리모우트 센싱, 지문인식, 목표추적, 머신비전 및 로봇트 공학 등의 應用分野에 영상처리 기술은 디지털 컴퓨터가 出現한 이래로 많은 연구가 進行되고 있으며 여러 技法들이 개발 사용되고 있다. 이러한 기법들은 대부분 많은 記憶素子를

*正 會 員 : 金星産電(株) 研究所 室長 · 工博

**正 會 員 : 金星産電(株) 研究所 前任研究員 · 工博

***正 會 員 : 金星産電(株) 研究所 主任研究員

****正 會 員 : 金星産電(株) 研究所 所長 · 工博

必要로 할 뿐만 아니라 計算量도 엄청나기 때문에 인간이 事物에 대한 視覺 및 知的能力을 높이기 위한 實時間 적용이 기존의 컴퓨터 시스템으로는 거의 不可能하다. 따라서 영상처리 시스템은 計算能力, 記憶容量 및 轉送率에 관한 엄격한 영상처리 特性을 만족시켜야 하며 이를 위해서는 Parallel Image Data Process 方法과 Pipeline Process 方式을 수행하는 SIMD (Single Instruction Multiple Data) 方式으로 實時間 處理 機能을 갖도록 해야 한다.

最近에 컴퓨터 및 高速 大容量 메모리 및 인터페이스 칩 등의 놀라운 成長과 專用 DSP 칩의 出現으로 實時間 映像 信號 處理가 可能해졌으며 이에 따른 應用 分野는 産業 全般에 걸쳐 實現되고 있다. 실시간 처리를 要하는 영상처리 시스템에서 프로세서, 버퍼메모리 및 디스플레이 유닛 사이의 높은 轉送率이 要求되는 오퍼레이션에 대하여 본 PC-Vision 시스템은 VME BUS를 利用하여 시스템의 데이터 및 어드레스를 効率的으로 運用한다.

本 論文의 PC-Vision 시스템의 장점은 일반 범용 영상처리 시스템과는 달리 고해상도의 512²의 Spatial resolution을 가지고, 일반적인 산술 논리 연산뿐만 아니라 3*3 및 16*1 콘볼루션, 웨이트화한 영상평균, 필터링 및 엣지 檢出 (Edge Detection) 등과 같은 실시간 처리를 必要로 하는 응용분야에 대하여 우수한 性能을 提供해 준다. 또한 본 시스템은 映像의 Subregion이 1 비디오 프레임 타임 (Video frame time) 이하로 處理되도록 해주는 ROI (Region of Interest) 프로세싱 모우드를 채택하였으며 映像 데이터의 Intensity 히스토그램과 영상 추출을 實時的으로 수행하도록 시스템을 構成하였다.

本 論文에서는 映像 處理 技術의 개요와 그 해석 方法에 대하여 說明하고 이러한 特殊한 用途의 多機能 映像處理 시스템을 設計 製作하여 그에 따른 시스템의 應用 소프트웨어를 開發 運用하였다.

2. 映像 處理 技術의 概要

映像 處理技術은 크게 영상의 強調, 영상의 復源, 영상 解釋 및 영상의 코우딩으로 분류한다. 이러한 4 가지의 분류를 영상과 데이터간의 Cyclical 變換으로 나타내면 그림 1과 같다.

PC-Vision 시스템의 設計 및 具現을 위해서 考慮해야 할 事項으로서, 영상의 強調과 영상 解釋에 대해서 논한다.

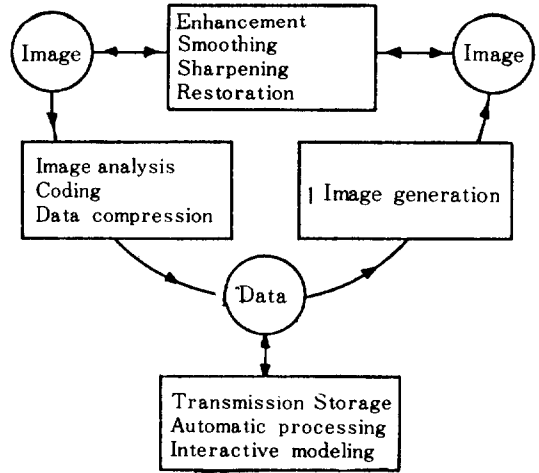


그림 1. 영상 처리 기술의 분류

Fig. 1. Classification of image processing

2.1 映像의 強調 (Image Enhancement)

映像의 全畫面 또는 어느 Spatial 領域의 세부적인 部分의 輝度の 畫質을 變化시키는데 利用되는 技法으로서 Contrast 화질의 부족을 補償하거나 실물에서 분명치 않은 對象의 特徵을 抽出하는데 利用된다.²⁾

細部的으로 分類하면 다음과 같다.

- 히스토그램 변형
- 영상의 평환화
- 영상의 첨예화
- 영상의 감산

本 PC-Vision 시스템에 의한 映像 強調의 프로세싱은 映像의 Fourier 變換을 利用하여 영상을 處理하는 周波數領域 方法과 영상의 平面 그 自體에 관해서 취급하고, 畫素의 직접적인 調整에 의해서 처리하는 空間領域 方法의 두 가지가 있다.

2.2 映像 解釋

映像 處理 시스템을 設計하고 具現하는데 중요한 役割을 하는 部分이 映像 解釋이다. 映像處理 시스템은 미리 指定된 任務(Task)를 實行하기 위해서 多樣한 오퍼레이션을 수행하며 그러한 任務에 關聯된 有用한 情報을 抽出하기 위해서 映像 畫面이 解釋된다.¹⁾ 任務의 結果는 사이즈, 다른 物體와 相對的인 位置 등과 같은 特徵의 認識과 確認 또는 特定한 物體의 存在 有無에 대한 判斷이다.³⁾ 階層

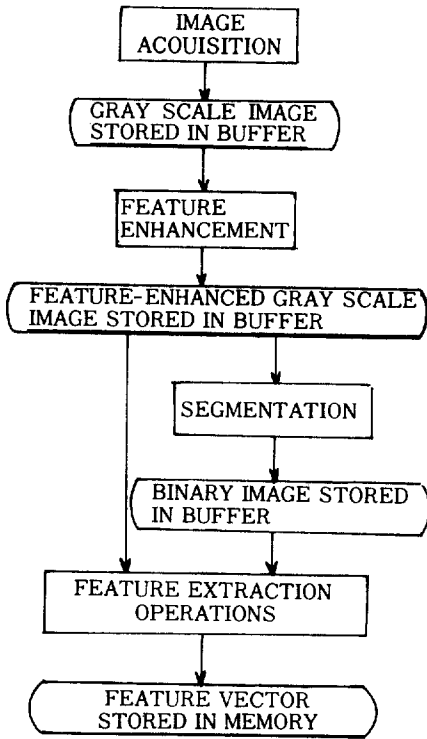


그림 2. Iconic 영역의 영상 해석의 흐름도
 Fig. 2. Flowchart in the iconic domain of image analysis

的 映像 解釋 節次에서는 오퍼레이션이 화소공간에서 수행되는 Iconic 領域과 映像에서 抽出된 特徵을 表現하는 Symbolic 領域으로 區分된다. 이 特徵抽出이 終了되면 映像 解釋은 Iconic 領域에서 Symbolic 領域으로 轉換되며 그림 2는 映像解釋의 Iconic 領域의 段階를 보여준다.⁶⁾

시스템의 Architecture가 特定한 Iconic영역의 機能을 高速으로 實行하고, Symbolic영역의 오퍼레이션에 대해서도 범용으로 處理할 수 있다면 복잡한 영상의 Task는 實時間으로 遂行될 수 있다.

Symbolic프로세싱은 從來의 Von Neuman 타입의 컴퓨터의 Flexibility를 必要로 하며 본 PC-Vision시스템은 이러한 概念을 토대로 設計하였다.

이러한 實時間 어레이(Real time array) 프로세서는 SIMD 모우드로 動作하는 高速 다단계 파이프라인의 形態로서 効果的으로 實現될 수 있다.

3. ROI 및 實時間 프로세싱의 고찰

3.1 ROI 프로세싱 (Region of Interest Processing)

ROI 프로세싱은 處理되는 映像 데이터의 量을 줄이고 오퍼레이션에 대한 Throughput을 增加시키기 위한 것으로서 호스트컴퓨터에 부담을 줄이기 위해서 이용된다. 本 시스템은 處理되는 畫素數에 制限을 주기 위해서 하드웨어 具現에 ROI의 概念을 擴張시켜 오퍼레이팅에 要求되는 많은 時間을 減少시킨다.^{7), 8)} 보오드 레벨(Board Level)의 실시간 映像 處理 시스템은 RS-170 비디오 표준을 근거로 하고 있다. 內部的 타이밍은 이 信號에서 발생되어 63.5 μ s의 수평라인과 16.67ms의 수직 라인을 기준으로 하며, 실시간 영상 처리기기는 이들 타이밍에 의해서 주어진 영상을 프로세스 한다.

이 방법에서 ROI는 하드웨어로 具現되며 高速으로 처리된다.

3.2 실시간 프로세싱

論理 演算에서 16비트 Image averaging, subtraction, 論理 演算, 最大/最少 값 계산 및 Point processing의 수행은 소프트웨어 콘트롤로 可能하며 制限된 사이즈를 갖는 콘볼루션은 실시간으로 수행한다.^{7), 8)} 本 실시간 콘볼루션 모듈은 3*3 실시간 콘볼루션을 提供하여 高性能의 特徵을 갖는다. 또한 16*1 FIR (Finite Impulse Response) 필터링을 遂行하며 그 出力 畫素는 10MHZ로 發生된다.

4. PC-Vision 시스템의 構成

本 論文에서 具現한 PC-Vision시스템은 汎用的 VME (Versa Module European) 버스 상에서 實時間 映像 오퍼레이션을 必要로하는 應用 分野에, 本 시스템은 서브시스템에서 要求하는 여러가지 Task를 VME 버스 카드에 分配시켰으며, 시리즈로된 5개의 모듈은 入出力 디지털링(I/O Digitizing), 프레임 저장, 범용의 영상 처리, 실시간 고속 영상 처리 그리고, 특징 抽出 등의 기능을 갖는다.^{7), 8)}

4.1 시스템의 概要

本 PC-Vision 시스템은 각 모듈과 서브 시스템의 構成에서 實時間으로 알고리즘이 實行되도록 設計하였으며 그림 3은 本 PC-Vision시스템의 블럭 선도를 보여준다.

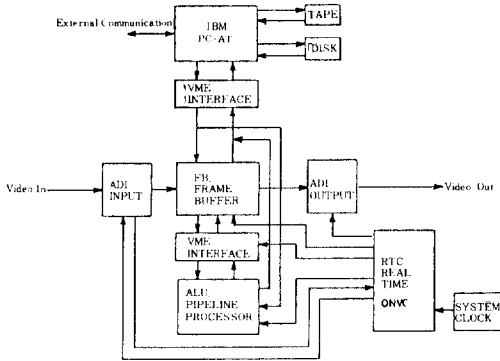


그림 3. PC-Vision 시스템의 블럭선도
Fig. 3. Block diagram of PC-Vision system

모든 모듈은 映像의 Subregion이 1 비디오 프레임 시간 이하로 (실시간보다 빠름) 處理되도록 해주는 ROI 프로세싱 모우드를 지원하고 많은 應用要求에 적절한 解決을 할 수 있도록 構成하였다.¹³⁾

시스템모듈은 畫素 데이터가 비디오 레이트 (Video rate)로 高速處理 파이프 라인을 통해서 흐르고, 追加되는 보오드가 비디오 파이프 라인에 쉽게 統合되도록 하기 위해서 Daisy chain 방식으로 연결하였다. 또한 畫素 데이터의 흐름에 큰 Flexibility를 追加하고, 비디오 버스 인터페이스에 必要한 모든 스위칭을 다루기 위한 MXS (Multiplexer) 게이트 어레이를 커스텀화 (Customize) 하였다.⁹⁾

그림 4는 本 論文에서 設計한 PC-Vision 映像處理 시스템의 외관을 보여준다.

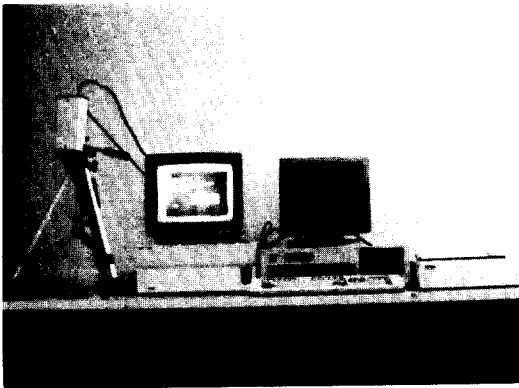


그림 4. PC-Vision 영상 처리 시스템의 외관
Fig. 4. Picture of PC-Vision image processing system.

4.2 시스템의 構成

PC-Vision 시스템은 基本的으로 I/O 인터페이스, 프레임 버퍼 그리고, 論理演算의 3개 보오드로 構成하며, 이 基本的인 하드웨어 構成에 實時的 處理能力을 가져다 주는 실시간 콘볼루션 보오드와 特徵 抽出 보오드를 追加하였다. 이러한 각 보오드의 役割을 管理하고 Supervise 하는 시스템으로서 IBM-PC AT를 使用하였다. 그림 5의 블럭선도는 PC-Vision 시스템의 비디오 버스 構成도를 나타낸다.

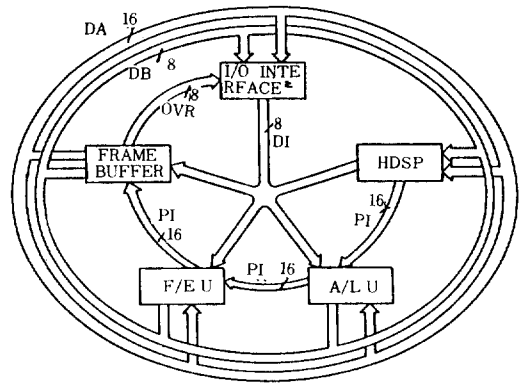


그림 5. PC-Vision 시스템의 비디오 버스 構成도
Fig. 5. Video Bus of PC-Vision system.

4.2.1 入出力 인터페이스 모듈

이 入出力 인터페이스 모듈은 4개의 비디오 信號 入力과 3개의 出力으로 區分되며 각각 비디오 入力, 비디오 버스 인터페이스 타이밍 發生器 그리고, 비디오 出力으로 나눈다. (그림 6)

強力한 映像 推定을 可能하게 해주는 이 모듈은 다른 모듈에 대하여 RS-170모우드와 ROI 모우드로 타이밍을 發生시켜, 映像에 대한 수평 수직 동기 信號를 提供하며 일반적인 Standard RS-170 감지 장치에 인터페이스된다.¹⁰⁾ 入出力 인터페이스 모듈은 비디오 信號의 正確한 디지털화를 위해서 信號 조건회로가 附加되며 256그레이 레벨의 디지털화에 앞서 이 入力 비디오 信號는 DC 바이어스 (DC Bias)를 제거시킨다. 아날로그 비디오 信號는 프로세싱이 시작되기전에 入力 映像의 質을 改善시키기 위한 필터를 통하여 실제 디지털화는 초당 10 million 샘플 레이트로 동작하는 A/D 變換器에 의해서 이루어진다.

畫素데이터는 비디오 버스 인터페이스에 必要한

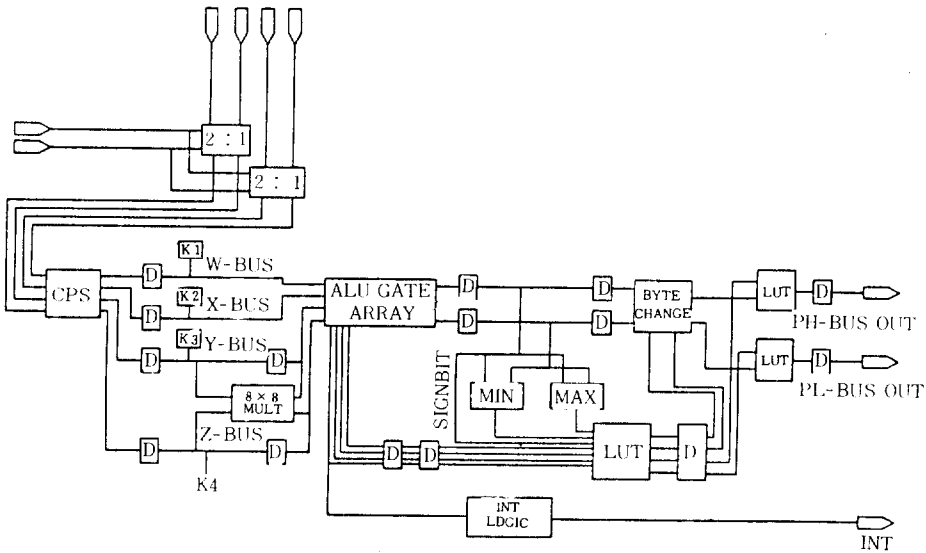


그림 8. 논리 연산 모듈의 블럭선도

Fig. 8. Block diagram of arithmetic logic module.

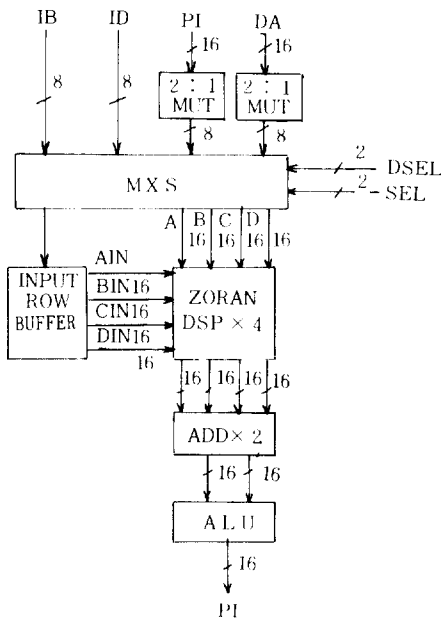


그림 9. 실시간 콘볼루션 모듈의 블럭선도

Fig. 9. Block diagram of real time convolution

4. 2. 4 實時間 콘볼루션 모듈

이 모듈은 Local 및 Global 오퍼레이션을 必要로 하는 映像處理에서 한 프레임의 콘볼루션을 實時間으로 수행하여 서브시스템의 能力을 向上시킬 뿐만 아니라 4개의 24비트 전용 DSP칩을 이용하여 3*3 Programmable Kernel을 한 프레임당 1/30sec 이하로 수행한다. (ROI 모드)

實時間 콘볼루션 모듈의 出力側에 結果의 絶對값을 計算하기 위한 Component와 結果를 스케일링하

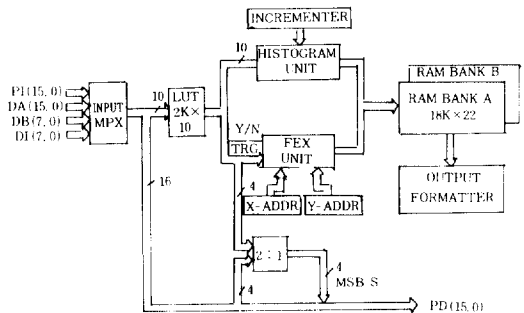


그림 10. 특징 추출 모듈의 블럭선도

Fig. 10. Block diagram of feature extraction module.

기 위한 소프트웨어를 提供하여 모듈의 特性을 向上시켰다. 그림 9는 이 모듈의 블럭선도를 나타낸다.

4.2.5 特徵 抽出 모듈

Iconic 領域 및 Symbolic 領域에서 畫素 Intensity의 實時間 統計的 解釋과 Intensity Stretching, Centroid 계산 및 Dimensional measurement를 加速시키기 위해서 高性能의 映像 處理 모듈을 그림 10과 같이 構成하였다. 이 모듈은 히스토그램 프로세싱 뿐만 아니라 特徵抽出의 두가지의 機能을 갖는다.

5. PC-Vision 시스템의 소프트웨어 開發 및 運用

本 PC-Vision 시스템의 Library package는 映像 處理 서브시스템에 대한 영상처리와 그래픽 函數의 라이브러리로서 映像處理 機能뿐만 아니라 하드웨어 콘트롤 유틸리티를 포함한다.

하이레벨 프로그래밍 言語로부터 呼出할 수 있는 이 팩키지는 應用 소프트웨어 開發에 最適이며 MS-DOS 버전 3.0 이상에서 運用되도록 開發하였다. C 言語로 作用된 라이브러리 팩키지의 部分的 機能으로서 시스템 초기화, Argument의 定義, 보오드 레벨 函數 등이 있으며 數學的 알고리즘 및 기타 알고리즘을 이용하여 映像의 幾何學的인 變換, Point process, Local process, Global process 등의 應用 소프트웨어 라이브러리를 開發한다.

5.1 幾何學的인 變換

이 機能은 Iconic 領域에서 線型 幾何學的인 變換을 수행하여 Symbolic 領域으로 그 結果를 位置시키는 것으로서, 적절한 계수를 셋팅하여 스케일링(Scaling), 移轉(Translation) 및 回轉(Rotation) 등의組

합을 수행한다. 본 시스템은 이러한 알고리즘을 개발하여 라이브러리 프로그램을 作成하였다.

• Image rotation

映像의 回轉은 入力映像의 空間的 回轉을 許容해 주는 기하학적인 오퍼레이션으로서 回轉角 θ 가 定義된다.

本 시스템의 512*512映像에 대해 回轉 오퍼레이

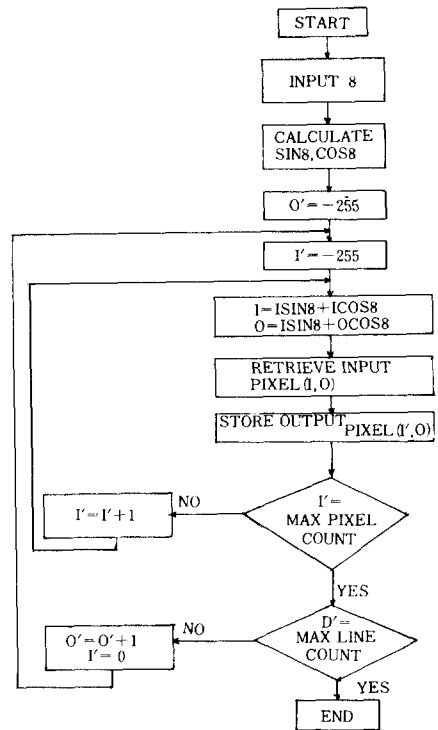


그림 11. 영상회전의 프로우차트
Fig.11. Image rotation flow chart

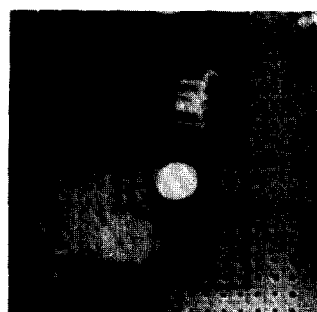
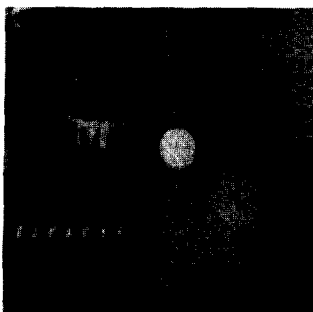


그림 12. 90°의 영상회전
Fig.12. 90° Image rotation

선의 畫素 및 라인의 좌표는 -255에서 256이다.

그림11, 그림12는 映像回轉의 프로우차트와 프로 세싱된 후의 映像을 나타낸다.

여기서 $I(I')$: 入力(出力) 映像畫素의 番地
 $O(O')$: 入力(出力) 映像라인의 番地

5.2 Point Operation

Point 오퍼레이션은 出力에서의 各 畫素가 入力 映像의 좌표에 있는 各 入力畫素에 대한 函數로서 그 表現은 매우 효율적이고 명확하다. 最近의 映像 處理 시스템은 Image averaging, Subtraction, Unsharp masking, Histogram equalization 등의 많은 Point 오퍼레이션을 實現하고 있으며 그 Throughput 도 상당히 증가하고 있다.¹⁵⁾

本 시스템에서는 Image averaging, Subtraction

및 Histogram equalization 등의 알고리즘을 이용하여 라이브러리를 作成하였다.

1) 영상의 平均(Image Averaging)

이 오퍼레이션은 두 개의 入力映像의 平均値를 갖는 出力映像을 만들어내며 화면에 나타나는 노이즈를 數學的 알고리즘을 利用하여 Spatial 領域으로 처리하였다.

2) Image Subtraction

Subtraction은 어느 Detail한 部分에서의 映像의 차이를 強調해주는 技術로서 Motion detection에 많이 應用된다. 이 Function은 Dual Image/Pixel point 프로세싱의 출력 맵(map) M에 의해서 다루어지며 式은

$$O(x, y) = M[|I_1(x, y) - I_2(x, y)|]$$

3) Histogram Equalization

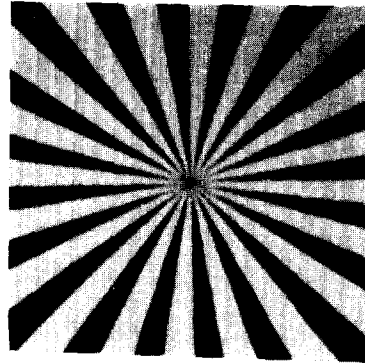
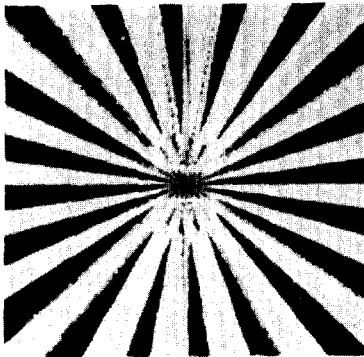


그림13. Averaging으로 처리한 영상
 Fig.13. Picture of image averaging

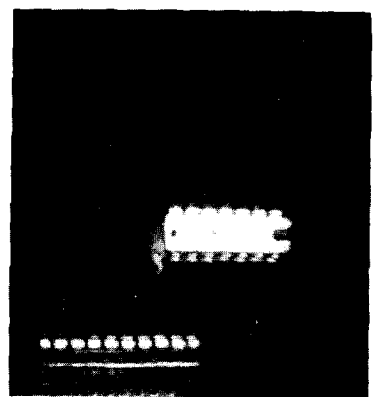
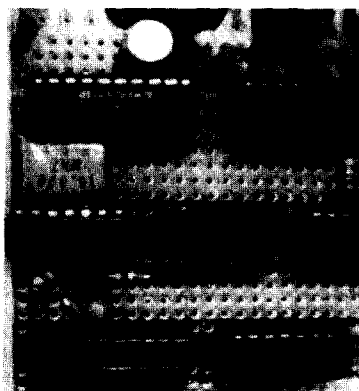
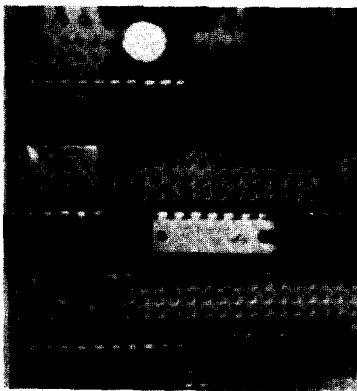


그림14. Subtraction으로 처리한 영상
 Fig.14. Picture of image subtraction

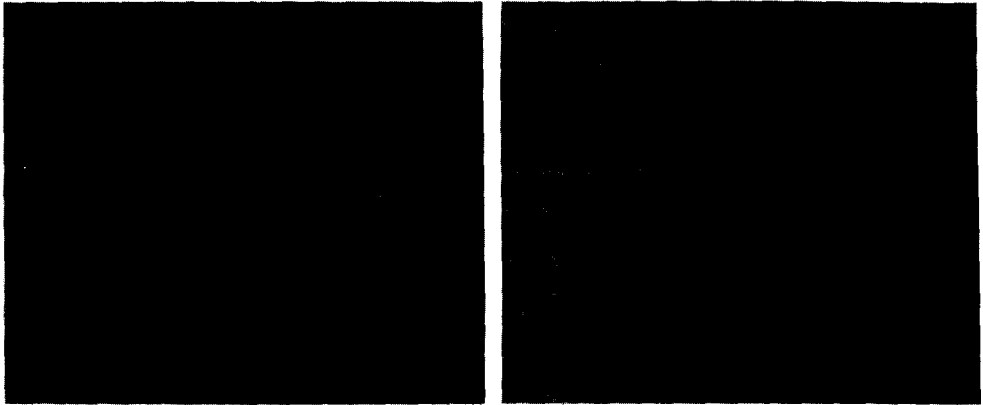


그림15. 히스토그램 평활화로 처리한 영상
 Fig.15. Picture of histogram equalization

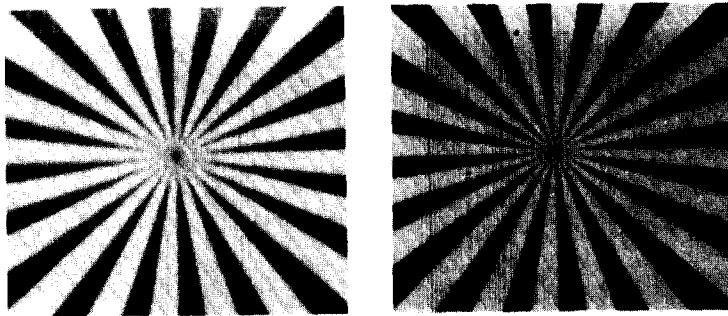


그림16. 저역 필터링의 영상
 Fig.16. Lowpass filtering image

일정한 히스토그램을 얻기위해서 이용하는 技術로서 본 PC-Vision시스템의 信號處理에 의해서 入力信號의 레벨을 조정함으로써, 거의 같은 레벨을 갖는 映像을 區別할 수 있도록 映像을 再生시키는 方法이다.¹⁶⁾ 그림13, 그림14, 그림15는 이들 Point 오퍼레이션에 대한 알고리즘을 이용하여 라이브러리를 作成하고, 映像의 處理를 보여준다.

cian 콘볼루션의 마스크는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

5.3 Local Operation

Local Operation에 있어서 各 畫素의 出力은 入力 畫素의 주위를 둘러싸고 있는 작은 領域의 入力 畫素에 대한 函數로 計算된다.

일반적으로 Local Operator는 non-recursive 선형 필터로서 出力 畫素는 단순히 入力 畫素의 數으로 計算되며, 필터에 대한 계수 어레이의 具現은 일정한 마스크를 選擇하는 것이다.

본 논문에서 구현한 저역, 고역 필터 및 Lapla-

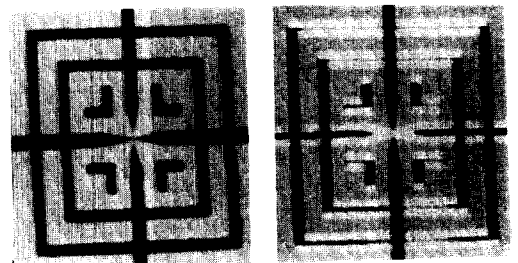


그림17. 고역 필터링의 영상
 Fig.17. High pass filtering image

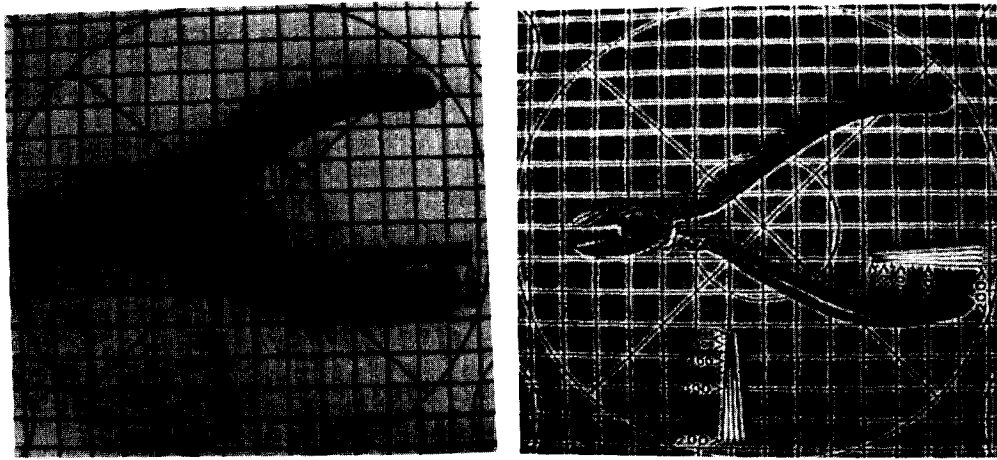


그림18. Laplacian 콘볼루션 후의 영상
Fig.18. Laplacian convolution image

이 Local Operator의 알고리즘을 이용하여 라이 브러리를 작성하고 프로그램의 실행한 결과를 그림 16, 그림17, 그림18에 나타낸다.¹⁷⁾

5.4 Global Operation(FFT)

Global한 특성을 갖는 이 오퍼레이션은 다음과 같은 수학적 변환을 이용한다.

$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) e^{-j 2\pi k m - M + (l n / N)}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } \theta &\leq K \leq M-1 \\ \theta &\leq l \leq N-1 \end{aligned}$$

FFT는 Intensity의 sine과 cosine variation을 갖는 Kernel과入力信號 사이의 콘볼루션을 수행하는 것으로서 이 콘볼루션 값은入力素의 sine과 cosine 成分의 상대적인 Strength를 나타낸다.

6. 結 論

本論文에서는 512²의 素로 構成되는 映像으로 디지털화(Digitizing), 프레임의 저장, 디스플레이 및 여러가지의 영상처리가 가능한 實時間 映像處理 시스템을 모듈별로 開發하였다.

本 PC-Vision 시스템은 VME BUS와 호환적인 高性能의 映像處理 시스템을 추구하는 使用者에게 多用途의 해결을 제공하며 머신 비전, 의료용, 放送通信 및 기타분야의 多樣的 Task에 대해 해결점을 가져다 주는 범용 시스템이다.

특히 ROI 프로세싱은 RS-170비디오 Standard에 부여된 Timing constraint를 제거해주는 프로세싱으로서 實時間보다 빠른 處理를 可能하게 해주는 산술논리연산뿐만 아니라 윤곽선 검출, 필터링, 웨이트化的 영상 평균, 4*4 콘볼루션 등과 같은 고급 영상처리 오퍼레이션을 實時間으로 수행한다.¹⁸⁾

VME BUS CARD의 P2 back plane에서 具現한 高速 비디오 버스와 각 모듈의 VLSI 게이트 어레이는 PC-AT와 더불어 Functionality와 Reliability를 증가시켰으며 使用者가 시스템을 穩固하게 오퍼레이팅하기 위해서 데모용(Demonstration) 소프트웨어와 하이레벨 언어의 샘플 프로그램을 開發하였다.

本論文에서 具現한 映像處理 시스템은 實時間 處理를 要하는 分野에 高性能의 Capability를 제공해 주기 때문에 더욱 더 Sophiscated한 映像處理 分野에 最高의 해결점을 提供해 줄 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) Pratt, W. K., Digital Image Processing. New York: John Wiley and Son, Inc., 1978.
- 2) Gonzalez, r. c. and Wintz, p., Digital Image Processing. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1978.
- 3) Hall, E. L., Computer Image Processing and Recognition. New York: Academic Press, Inc., 1979.
- 4) Aggarwal, J. K. et al., Computer methods in Image Analysis.

- 5) Special Issue on Digital Picture Processing. Proc. IEEE, 60, 7 (1972)
 - 6) Gregory A. Baxes., Digital Image Processing, Prentice-Hall, Inc., 1984
 - 7) Special Issue on Image Processing. IEEE Computer, 7,5 (1974)
 - 8) A.V. Oppenheim, Applications of DSP Prentice-Hall (1978)
 - 9) Special Issue on Image Processing. IEEE Computer, 10, 8 (1977)
 - 10) Conrac Division, Conrac Corp., Raster Graphics Handbook, (1980)
 - 11) Special Issue on Pattern Recognition and Image Processing. Proc. IEEE 67, 5 (1979)
 - 12) Patel, J. H., "Performance of Processor-Memory Interconnections for Multi-Processor. IEEE, Trans. Comp., Oct. 1981. pp 771-780
 - 13) Jain, a. k., Image Data Compression: A Review. Proc. IEEE 69, 3: 349-389.
 - 14) Parasuraman, B., "Pipelined-Architectures of μ P, Compcon Proc., 1976. pp 225-228
 - 15) Andrews, H. c., Computer Techniques in Image Processing. New York: Academic Press, Inc., 1983.
 - 16) Hall, e. L., Almost uniform distribution for computer image enhancement, IEEE Trans. Computers, C-23:207-209 (1984).
 - 17) Frieden, B. R., A new restoring algorithm for the preferential enhancement of edge gradients, J. Opt. Am., 66, 3 (1986).
 - 18) Eklundh, J. Q., A fast computer method for matrix transposing. IEEE Trans. Computers, C-21:801-803 (1972).
-