

電氣技術者를 위한

産業用 로봇 技術

(12)

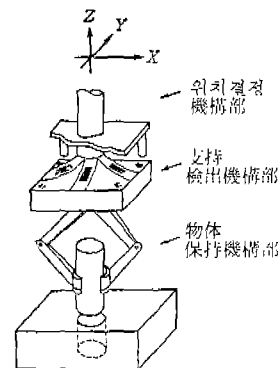
(3) 力 覺

팔이 만들어 내고 있는 힘이나 팔이 받고 있는 힘의 感覺은 力覺이라 호칭되며, 변형 게이지 등이 힘의 檢出素子로서 널리 사용되고 있다. 圧覺의 경우는 1次元인 힘의 감각이지만 力覺의 경우는 複數次元인 힘의 感覺이다. 따라서 力覺用 센서는 複數次元인 힘의 成分을 檢출하기 위해 여러 개의 변형 게이지를 相異한 위치에 立体的으로 장치한 것이다. 변형 게이지를 장치하는 基板의 구조나 게이지의 부착 장소를 적당히 선정하면 센서 出力의 처리 회로가 간단해진다. 따라서 힘 센서를 사용하는 경우에는 가급적 高感度로 直接的으로 힘의 成分을 檢출할 수 있게 연구해야 하고 게이지를 부착하는 基板의 힘에 대한 變形性이나 力學的 構造, 게이지의 배치, 基板의 強度 등을 충분히 검토하는 일이 중요하다.

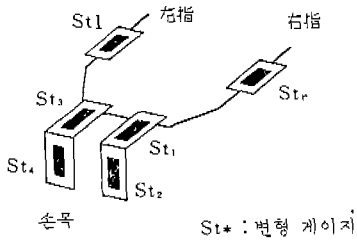
이런 종류의 센서로서 클리어런스 $10\mu\text{m}$ 의 정밀한 끼워맞춤 作業을 가능하게 한 觸覺을 가지

는 시스템이 있다. 그림 5·6은 끼워맞춤 로봇 「HI-T-HAND Expert-2」의 손목에 부착된 力覺 센서이다. 센서로부터는 X, Y 및 Z축 방향의 相對變位の 檢출이 가능하고 손목의 유연한 스프링 특성과 조합해서 손가락部に 작용하는 미묘한 힘의 檢출이 가능하게 되어 있다.

그림 5·7은 머니플레이터의 힘 制御를 시도



(그림 5·6) 끼워맞춤 로봇의 손목과 센서



〈그림 5·7〉 힘제어형 로봇의 손가락과 센서 배치(ETL)

한 力覺 센서의 예이다. 손목부에 4개, 좌우 손가락부에 각각 1개의 변형 게이지가 붙어 있다. 이 중, 손가락부의 게이지는 物体를 파악할 때의 接觸點으로 사용되고 손목부의 게이지가 反力を 검출하여 対象물과의 접촉, 결합 그리고 접촉하면서 움직인다고 하는 相對的인 관계를 제어하는 데 사용되고 있다.

그림 5·8 (a)는 MIT의 트레이버 연구소에서 개발된 손목의 力覺 센서이다. 4개의 외팔보 칩상 스프링은 손목의 軸에 1-자를 짜는 형태로 고정되어 있다. 각 바늘 끝은 손목부의 바깥 틀內的 구멍에 들어 가고 바늘의 先端에는 굽힘에 대해서 바늘이 미끄러지기 쉽게 나일론의

붙이 붙어 있다. 또, 바늘에는 斷面이 정방형인 個所가 있는데, 이 4개의 面에 스트렌 게이지가 붙여져 있고 상대하는 面에 붙여진 게이지에 의해 힘의 一成分이 檢出된다. 손목 全体에서는 8가지 成分($f_{x1}, f_{y1}, f_{z1}, f_{x2}, f_{y2}, f_{z2}, f_{x3}, f_{y3}, f_{z3}$)이 게이지에 의해 檢出되며, 이것을 기초로 손목 先端에 있어서의 X, Y, Z軸 방향인 3가지 힘(F_x, F_y, F_z)과 각 軸에 관한 3개의 토크(M_x, M_y, M_z)가 계산된다. 즉, 손목부에 걸리는 힘의 성분을 표시한 그림 5·8 (b)를 기초로 하여 이것들은 다음과 같이 계산된다.

$$F_x = -f_{x1} - f_{x3}$$

$$F_y = -f_{y1} - f_{y2} - f_{y3} - f_{y4}$$

$$F_z = -f_{z2} - f_{z4}$$

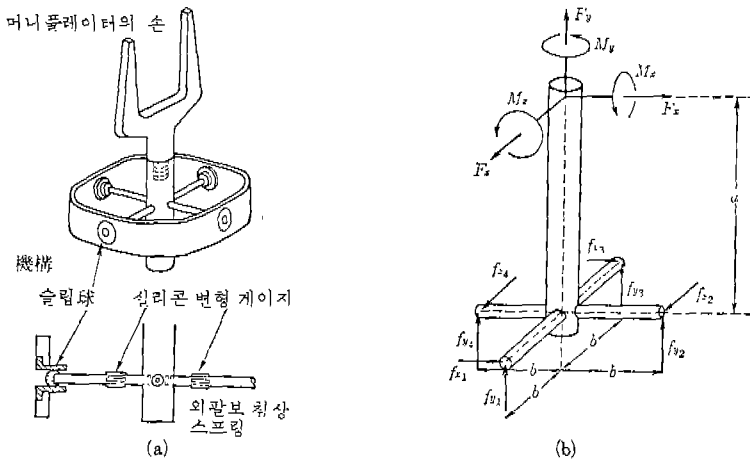
$$M_x = a \cdot f_{z2} + a \cdot f_{z4} + b \cdot f_{y1} - b \cdot f_{y3}$$

$$M_y = -b \cdot f_{x1} + b \cdot f_{x2} + b \cdot f_{x3} - b \cdot f_{x4}$$

$$M_z = -a \cdot f_{x1} - a \cdot f_{x3} - b \cdot f_{y2} - b \cdot f_{y4}$$

Groome 등은 이 力覺 센서를 사용해서 棒의 구멍 넣기, 稜線 追跡, 物体 表面의 平面領域의 방향검출 등 세가지 작업을 하였다.

이제까지의 方法에 있어서는 손목에 重負荷에도 충분히 견딜 수 있는 剛性을 갖게 할 필요가 있다. 그리고 손목에 큰 부담을 주지 않고 自重의 영향을 補正하는 계산을 単純化하기 위해



〈그림 5·8〉 손목의 力覺 센서(드레이버 연구소)

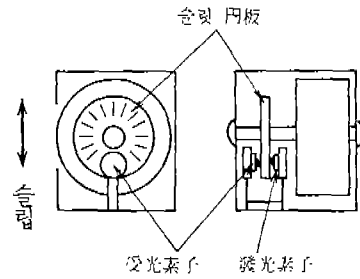
서도 손끝部를 가볍게 하여야 한다. 또, 손목部에 부착한 觸覺의 重力에 기인하는 오프셋은 시스템이 최초 기동되었을 때 자동적으로 캘리브레이션되지만 作業의 내용에 따라서는 손목이 여러가지 힘을 받아서 여러가지로 變形하며 機械的 이력이나 잔류하는 변형을 완전히 피하기는 곤란하다. 그래서 單純한 信號處理에서는 미소한 힘을 충분한 信賴性을 갖고 測定하여 이용하는 일이 어려워진다. 따라서 이제까지의 方法에 의해 센서의 感度를 높이고 또한 信賴性을 向上시키기 위해서는 力覺 센서의 信號를 로복의 動作履歷을 고려해서 처리해야 할 것이다.

최근, 트레이버 研究所의 Drake 등에 의해 力覺 센서를 사용하지 않아도 손작업에 볼 수 있는 정밀한 조립작업이 가능하다는 것이 보고되었다. 이 손목은 손목의 구조에 機械的 柔軟性을 갖게 한 것으로서 컴플라이언스 리스트라고 불린다. 이 컴플라이언스 리스트는 力覺 센서가 不必였하기 때문에 구조가 간단하고 組立 시스템에 소요되는 經費를 절감할 수 있다고 한다. 이 手法는 情密組立作業에는 力覺 센서가 不可缺하다고 하던 이제까지의 사고방식을 부정하는 것으로서 주목할만 하다.

(4) 슬립覺

屬性이 未知인 어떤 物體를 잡는 경우에는 로복 自体가 最適한 把握力의 목표값을 결정해야 한다. 그래서 把握力이 부족할 때 생기는 物體의 슬립(미끄러짐)을 검출하고 그 信號를 이용해 物體를 과손시키지 않는 범위에서 단단히 잡는 方法이 생각된다. 이를 위한 슬립 檢出器를 슬립覺 센서라고 호칭된다.

그림 5·9는 光學系를 이용한 슬립覺 센서이다. 檢出體로서의 롤러는 손가락 본체에 板 스프링으로 고정되어 있고 손가락을 벌린 상태에서 손가락의 把握面에서 1mm 突出되게 부착되어 있다. 손가락을 오무려서 物體를 과악했을 때 板 스프링이 변형되고 롤러는 손가락의 把握面까지 후퇴, 物體가 손가락의 面全體로 과악된



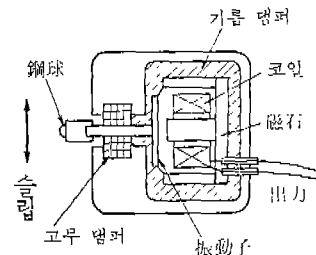
〈그림 5·9〉 光學式 슬립센서

다. 롤러 表面에는 고무膜이 붙여져 있고 롤러가 매끄럽게 회전한다. 롤러 回轉變位の 검출에는 롤러에 내장한 30개의 슬릿이 새겨진 원판과 光 센서가 사용되고 슬립 變位에 대응한 電壓(펄스 信號)이 얻어지게 되어 있다.

이 觸覺은 손가락이 把握面을 넓게 커버해서 슬립을 검출할 수 있다. 그러나 物體의 슬립 方向이 다르면 슬립 檢出의 感度が 둔해지는 경향이 있다. 또한 前記한 板 스프링은 얇은 磷靑銅板으로 만들어진 表面에 변형 게이지가 붙어 있고 把握力을 檢出할 수 있게도 되어 있다.

그림 5·10은 電磁式 레시버를 이용한 슬립覺 센서이다. 이 센서는 檢出部가 點으로서 슬립의 方向에 制限이 없다는 특징이 있다. 따라서 한 정된 個所의 슬립覺 檢出에 효과적이다. 이 밖에도 각종 슬립 센서가 개발되어 있다.

슬립覺 센서는 다른 觸覺 센서와는 약간 달라서 미소한 位置의 變位를 순시에 검출하는 것이



〈그림 5·10〉 電磁式 슬립센서

중요하며 슬립 정보를 손의 제어에 이용되게 하기 위해 센서의出力信號를 빨리 처리해야 한다. 또 슬립은 微小한 동작으로서 外部의 약간의 振動으로도 큰 영향을 받기 쉬우므로 이 而의 대책도 생각해야 한다. 이것은 미국에서의 義手の 실험에서도 확실히 지적된다. 즉 슬립이 일어나고 있는 동안, 잡는 힘을 증가함으로써 컵을 잡게 하는 실험에서 被驗자가 면도기를 사용한 바, 그 振動이 슬립 센서로 檢出되어 義手는 마침내 파손되어 버렸다고 한다. 이것은 진짜 슬립 이외의 外的인 振動의 영향을 없애는 것이 중요하다는 것을 지적하고 있다. 그리고 슬립은 物体의 형태나 表面의 상태에 따라서도 크게 좌우된다.

(5) 重量覺

重量覺이란 物体의 重量을 아는 感覺이지만 이것을 위해 특별히 고안된 센서는 현재로서는 없다. 현재, 이 필요가 있는 경우에는 重量에 의한 板子の 힘을 변형 계이지나 差動變圧器로 검출하고 있는 것 같다. 重量覺 센서는 物体를 지지하는 손의 자세가 항상 일정할 경우에는 문제 없지만 그렇지 않은 경우에는 센서의 檢出量을 자세에 따라서 補正하지 않으면 진짜 重量을 알 수가 없다. 이것은 슬립覺과도 공통된 문제로서, 센서나 신호처리의 연구에 의해 앞으로 해결해야 할 문제일 것이다.

(6) 觸覺의 開發

接觸覺 센서는 미소한 힘으로 접촉을 느끼고 힘이 없어졌을 때 센서 자체의 復元力에 의해 非接觸을 인지한다. 한편, 로봇은 物体의 위치나 형상을 計測·認識하는 경우를 제외하고 손으로 物体를 핸들링하는 것이 目的이기 때문에 로봇의 손에는 큰 힘이 가해진다. 이러한 것 때문에 接觸覺 센서는 취급하는 힘이 작은 반면, 큰 壓力이나 전단력을 받는다. 따라서 觸覺 센서 자체, 상당한 強度를 갖고 있어야 한다. 이런 점 때문에 소형으로 고밀도인 接觸 센서의 개발이

곤란하다.

接觸覺 센서는 壓力의 感覺을 갖지 않기 때문에 그것만으로는 로봇의 觸覺으로서 불충분하다. 한편, 力覺 센서는 힘의 크기를 연속적으로 檢出할 수 있고 高密度化하는 것도 비교적 용이하며 接觸壓을 임의로 設定할 수 있는 接觸覺 센서로서도 사용할 수 있다. 또 力覺 센서는 접촉부의 位置變位를 힘의 變位로서 檢出할 수 있으므로 高感度인 力覺 센서는 접촉부의 미소한 振動도 검출, 슬립覺 센서의 機能도 갖게 된다.

이러한 점을 생각하면 高密度 力覺 센서는 觸覺의 응용 범위를 넓혀 상당히 效果的이라고 생각된다. 感度が 좋은 고밀도화된 力覺 센서의 개발에 있어서는 센서 素子와 함께 센서의 信號處理에 대해서도 충분한 검토가 필요하다. 力覺 센서는 로봇의 손목이나 팔의 구조물 일부에 부착되고 구조물의 力學的 변형을 이용해서 힘의 複數次元 成分을 구하려는 것이다. 이 方法은 구조물의 힘에 대한 변형의 정도나 信號처리 여하에 따라서는 로봇의 손 運動이나 자세에 영향 받지 않고 진짜로 測定하고 싶은 個所의 힘 크기나 方向을 검출할 수 있게 된다.

현재, 개발되어 있는 觸覺이 즉시 실제 로봇의 作業環境에 적용된다고 하기는 어렵다. 그 이유는 현실적으로는 溫度, 壓力, 전단력, 振動, 먼지, 重量, 加速度 등이 觸覺의 動作에 큰 영향을 주기 때문이다. 따라서 어려운 환경하에서도 오동작하지 않는 信賴性이 높은 촉각의 개발이 바람직하다. 이를 위해서는 既存의 센서에 만족하지 않고 觸覺 센서의 사용환경이나 사용 목적에 적합한 센서 要素와 材料를 선택, 새로운 觸覺을 개발할 마음 가짐이 필요하다. 또 觸覺 센서의 신호 처리도 대단히 중요한 문제로서, 이것에 대해서도 충분히 검토해야 한다.

이상과 같은 점에 의해 觸覺의 문제점과 개발의 포인트를 정리한 표 5·2는 앞으로 로봇에 應用하는 촉각을 개발할 때 참고될 것이다.

라. 視 覺

〈표 5·2〉 觸覺의 문제점과 개발의 포인트

	問 題 點	開 發 的 포 인 트
接 觸 覺	<ul style="list-style-type: none"> · 고밀도화의 곤란성 · 변형성의 부족성 · 接觸의 녹과 그 부근의 오물 · 復元力の 유지 · 리드선의 증대 · 信號 꺼내는 방식 · 圧力, 전단력에 대한 강도 	<ul style="list-style-type: none"> · 彈力性이 풍부한 材料의 사용 · 녹이 잘 슬지않는 接觸의 사용 · 再現性이 있는 復元材의 사용 · 부분적으로 강도를 갖게 한다. · 信號 傳送의 多重化 · 接觸 센서의 이용
圧 覺	<ul style="list-style-type: none"> · 애널로그 처리의 복잡성 · 전단력에 대한 강도 · 고밀도화의 곤란성 	<ul style="list-style-type: none"> · 線形特성을 갖는 素子의 사용 · 계이저를 부착하는 기관 배치의 적정화 · 圧力에 의한 위치의 변화에 여유를 준다. · 力覺 센서의 이용
力 覺	<ul style="list-style-type: none"> · 信號處理, 계산의 복잡성 · 손의 자세, 중량의 영향 · 구조물의 잔류 변형의 영향 · 기계적 이력의 영향 	<ul style="list-style-type: none"> · 구조물의 최적 설계 · 差動브리지 회로에 의한 檢出感度の 향상 · 동작 경로를 고려한 신호처리
슬 립 覺	<ul style="list-style-type: none"> · 외부 진동의 대책 · 슬립 方向의 제한 · 접촉 가능한 영역의 협소성 	<ul style="list-style-type: none"> · 고감도 센서의 사용 · 접촉부의 多點化 · 신호처리의 고속화 · 광학계 센서의 검토

사람은 5感에 의해 外界에서 여러가지 情報를 얻고 있다. 그 중, 90% 이상은 視覺에 의한다고 할 수 있다. 즉 우리가 일상생활을 지장없이 영위하기 위해서는 눈에 의한 環境의 認識이 不可缺하다. 동일하게 로봇에 고도의 適應性을 갖게 하고 복잡한 作業을 수행하는 能力을 가지게 하려면 어떠한 形態로나 視覺을 구비시켜야 한다.

이러한 目的에 따라서 이제까지 포토 다이오드에서 TV카메라까지 여러가지 센서를 이용한 로봇의 視覺이 개발되어 왔다. 즉, 作業 대상의 有無를 검출하거나 그 대체적인 位置를 測定하는 機能을 가진 初期時代의 간이형 視覺으로부터 패턴 인식 機能을 가진 高度한 視覺까지 여러가지 레벨의 로봇 눈이 연구되고 그 일부는 具體的 裝置로서 實用化되고 있다.

한편 로봇의 視覺은 3次元 空間에서의 對象

物 認識이라는 情報科學 내지 人工知能 영역에서의 상당히 흥미있는 研究課題를 제공하고 있으며, 物体認識이라는 큰 연구 분야를 形成, 많은 연구자를 만들어 냈다.

이 節에서는 로봇 視覺의 기초인 物体認識의 여러 技法으로서 人工視覺의 구체적인 應用例에 대해 해설한다.

(1) 物体 認識

物体 認識의 연구는 Roberts 이후, 수 많은 成果가 걸쳐졌다. 물체 인식에서는 단지 3次元 空間의 기하학적인 여러 量을 계측할 뿐 아니라 대상물이 갖는 意味나 機能까지 이해해야 한다. 또 인식의 처리 과정에서도 3次元 空間에 관한 여러가지 物理的 知識과 일상생활상의 知識이 採用되어야 한다. 따라서 이러한 정보처리 과정은 人工知能의 좋은 例題가 된다. 以下, 物体

認識에 관한 主된 技法을 소개한다.

(가) 人力情報

人力情報로서 이용되고 있는 主된 것은 1) 明度情報 2) 色情報 3) 距離情報로서, 이것들은 대부분의 경우, TV 카메라에 의해 얻어진다. 明度情報은 A/D 변환기에 의해 4~10비트 정도로 디지털化되어 64×64~1024×1024 정도의 画素로 구성되는 디지털 画素로서 계산기에 넣어진다. 또, TV 카메라 앞에 3原色의 필터를 놓고 각 필터를 통과한 光量比로 各點의 色情報를 결정할 수 있고 컬러 TV 카메라의 利用도 시도되고 있다. 거리 정보에 대해서는 뒤에 표시하지만 어느 경우이거나 통상 入力情報의 景은 막대해진다.

(나) 前處理 技法

入力된 画素는 잡음을 포함하고 더구나 그 하나 하나가 有用한 의미를 갖는 것은 아니다. 그래서 雜音을 除去하고 全画素 集計을 線分이나 領域 등의 效果的 画素 集計으로서 재편성하여 불필요한 画素는 고려의 대상에서 제거하는 前處理 操作이 필요하다.

(a) 微分法

明暗이 현저히 變化하는 點은 有用한 情報를 많이 포함한다고 볼 수 있다.

특히 대상이 多面体인 경우는 모서리를 構成하는 각 점에 대응한다. 明暗 變化點은 각 점에 대해 微分演算과 유사한 계산을 하고 결과가 어떤 閾值 이상인 點을 선정함으로써 구해진다.

미분 연산에는 1차 미분과 2차 미분이 있다. 1차 미분은 兩像을 $p(x, y)$ 로 했을 때

$$\nabla p(x, y) = \partial p / \partial x \cdot i_x + \partial p / \partial y \cdot i_y$$

로 주어진다. 이것을 디지털 演算으로 近似하는 여러가지 方式이 제안되고 있다. Roberts의 例를 그림 5·11에 든다. 여기서 사용한 방식은 2×2의 메시에 대해

$$d(i, j) = \frac{\sqrt{\{p(i+1, j+1) - p(i, j)\}^2 + \{p(i+1, j) - p(i, j+1)\}^2}}$$

의 演算을 하고 $d(i, j)$ 가 일정값 이상인 것을 선정해 내는 것이었다. 1차 미분은 多面体의 처리에 적합하다. 2차 미분은

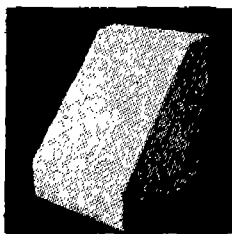
$$\nabla^2 p(x, y) = \partial^2 p / \partial x^2 + \partial^2 p / \partial y^2$$

과 유사한 디지털 演算이며, 曲面体의 처리에 적합하다.

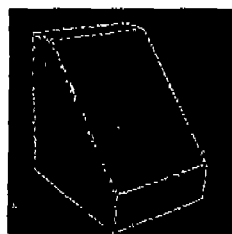
이들 微分演算은 2×2 또는 3×3의 메시에 대한 局部處理이고 大域的인 情報를 이용할 수 없다는 것, 原理的으로 잡음에 민감한 것, 閾值의 선정이 어렵다는 것 등 때문에 이것만의 처리로는 충분한 線分은 얻지 못하는 일이 많다. 그러나 계산이 單純하다는 것과 專用 하드웨어에 의한 고속 처리가 도모하기 쉽다는 것 때문에 널리 사용되고 있다.

또한 直接的인 微分法과는 다른 例로서, Hueckel은 52画素로 되는 円形의 小領域에 대해 그 明度分布를 이상적인 직선의 兩側 明度 分布와 비교함으로써 線面을 抽出하는 方法을 제시하고 있다.

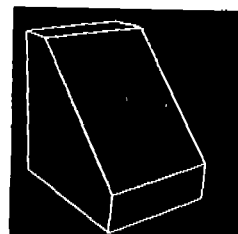
(b) 領域法



(a)

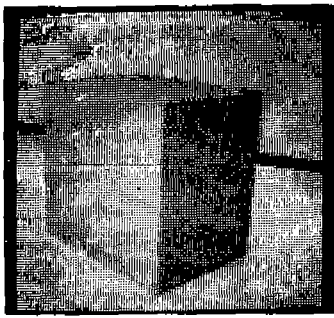


(b)

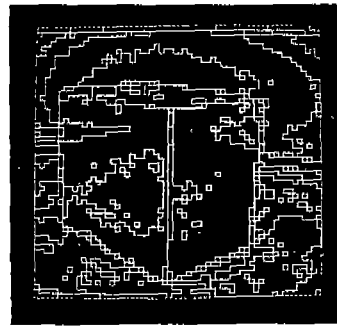


(c)

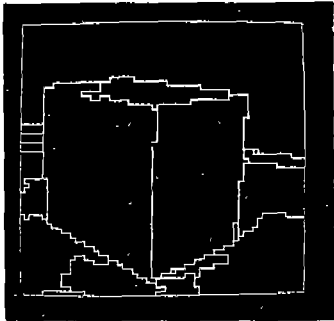
〈그림 5·11〉 線面의 抽出



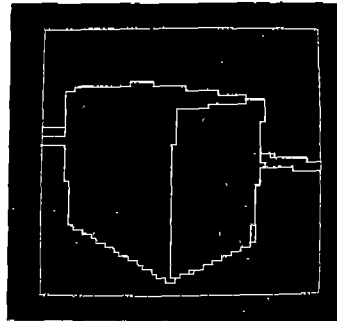
(a)



(b)



(c)



(d)

〈그림 5·12〉 領域法

明度の 변화점을 직접 檢出하는 대신에 明도가 거의 같은 画素 集단을 領域으로 하여 정리해 가는 方法이 있다.

Brice 등은 먼저, 明도가 같은 隣接點을 계속해서 연결해서 小領域으로 画面을 분할하고 있다. 다음, 인접하는 2개의 소영역을 그것들의 明度差, 境界의 형태에 입각해서 併合, 보다 큰 의미가 있는 領域을 만들어 나간다. 그림 5·12는 그 處理例이다.

領域 구분에는 明度情報 이외에 色, 거리정보를 이용해도 된다. 入力된 色情報를 기초로 같은 색을 갖는 領域을 구하거나 거리 정보를 單位領域으로 종합하여 平面方程式을 결정하고 이것을 기본으로 領域을 併合해 나가는 方法 등이 있다. 또한 텍스처추어에 입각하는 領域 구분도 할 수 있다.

(c) 線圖의 作成

(a), (b)에서 얻어진 明暗 變化點이나 領域의 境界點은 兩像의 특징을 잘 잡은 點(特徵點)이다. 대상이 多面體인 경우에는 특징점을 연결해서 直線으로서 表現, 이른바 線圖를 만든다. 이 경우, 雜音에 의해 본래 직선 위에 배열될 특징점이 없거나 存在할 리 없는 특징점이 있거나 하므로 適當한 方法으로 直線을 적용해야 한다. Roberts는 동일 미분방향을 갖는 點을 연결하고 다시 최소 자승법을 적용해서 그림 5·11(c)에 든 線圖를 구했다. 이밖에 특징점의 좌표에 適當한 패러미터 변환을 하는 方法도 고안되어 있다.

또한 특징점을 直線 이외에서 연결하는 것도 曲面 등을 취급할 때 필요해진다. 또 여기서 설명한 手法을 단순히 차례로 적용해 가는 것만으로는 完全한 線圖를 얻기가 곤란한 경우가 많다.