

표적 검출을 위한 주사방법들의 성능평가

Evaluation of Scanning Methods for Target Detection

이 문 규*

(Moon-Kyu Lee¹)

¹Department of Industrial and Management Engineering, Keimyung University

Abstract: Different scanning methods can be used to detect targets of interest in an image. In this paper, four scanning methods, generalized raster scanning, radial scanning, corner scanning, and random scanning, are considered for the evaluation of their scanning performances. The scanning performance is defined here as the ratio of the average scanning area required to detect a single target to the whole image area. Analytic expressions for the performance of each scanning method are derived. Computational results are given to illustrate the usage and validity of the expressions for the performance comparison.

Keywords: scanning method, performance evaluation, target detection

I. 서론

카메라로부터 입력 받은 영상정보로부터 관심 있는 정보를 추출해내는 영상처리 분야는 제조업체의 불량 유무검사, 관심 물체 식별 및 추적, 병변의 크기와 유형 확인을 위한 의료영상처리 등 실로 다양한 분야에 걸쳐 활용되고 있다. 이러한 영상처리는 향후 우주개발과 나노(nano) 분야의 영상처리 작업 등으로 그 응용성이 날로 확대되어 가는 자동화 분야의 응용수단이다. 영상처리 작업 중에서 관심 있는 물체, 즉 표적(target)을 찾아내어 그의 사양, 예로서 크기, 위치, 방향, 중심점, 알고 있는 원형(pattern)과의 일치성 정도 등을 식별해내는 것은 매우 혼란 일이다(Wilder, 1989; Ng, 2006; Kim & Song, 2011; Jung et al., 2012).

그림 1은 이러한 표적식별을 위한 대표적인 영상처리 과정을 보여주고 있다. 각 화소의 명암도로 정의되는 하나의 영상은 각종 필터링, 회복(restoration)처리, 영상품질향상(enhancement), 이진화(binanzation), 영상분할(segmentation) 등의 전처리를 거치게 된다. 이로부터 표적을 검출하고 검출된 표적주위 영상의 분해 해상도를 높인 후 표적의 특징 추출, 식별, 양부 검사 등의 의사결정을 포함하는 일련의 후처리 과정을 수행하여 표적의 정보를 확인한다.

전처리 과정 중 하나인 이진화는 각 화소가 지닌 명암도를 흑 또는 백의 색깔만으로 구분하는 것인데 이렇게 이진화가 이루어진 영상의 경우에는 영상분할하기 전이라도 표적검출이 가능하다. 영상분할 이전이든 영상분할과정 중이든 관심 있는 표적을 검출하기 위해서는 영상전체에 대하여 검색을 위한 주사(scanning)가 이루어져야 한다. 이러한 영상주사를 위하여 일반적으로 가장 흔하게 사용하는 기법이 X축과 평행인 주사선을 따라 영상의 최상단으로부터 시작하여 표적을 검출할 때까지 영상의 아래 부분으로 내려가면서 주사하는 래스터주사법(raster scanning)이다. 래

스터주사법 이외에도 여러 가지 주사법들이 개발되었다.

Gertner & Zeevi(1991)는 이 래스터주사법을 일반화하여 주사선과 X축이 평행인 아닌 특정 각도를 이루도록 주사하는 일반주사상주사법(GRS: Generalized Raster Scan)를 포함하여 다양한 주사법을 제안하였다. 특히, 일반주사상주사법에서 영상상에 있는 화소를 하나씩 무작위로 검색하는 주사법인 임의주사법(random scan)의 개념을 래스터주사법과 혼용하여 검색간소화(decimation) 이루어지도록 주사하는 방법을 제시하였다.

주사 방법에 따라 검색성능이 달라질 수 있으므로 효과적인 검색방법을 찾고자 하는 노력이 다양한 분야에서 시도되어 왔다. Talleur & Wickens(2003)는 비행기 조종사 외부의 교통상황을 인식하기 위하여 비행기 조종사 좌석에서 시각적으로 전면을 검색할 때 사용하는 주사법들을 제시하고 그 성능을 실험적으로 평가하였다. 여기서 제시된 주사법들은 1차원 상에 존재하는 선을 따라 검색하는 것들로서 본 연구에서 다루고자 하는 2차원 영상에서의 주사법과는 차이가 있다. Song(2008)은 레이저 스캔을 통하여 안면 입체영상을 재구성할 때 주사방법 즉, 주사각도와 횡수에 따른 입체영상의 정확도를 평가하였다. 영상검색 경우의 예는 아니지만 장애인들을 위한 효과적인 자판기 배열 방식과 글자선택을 위한 검색방법 선정에 관한 연구도 주사방법의 평가에 고려할 수 있는 응용 예(Harbusch & Kuhn, 2003) 라고 할 수 있다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 영상검색에 사용되는 주사법으로 여러 가지가 제시되어 있으나 이들에 대한 표적검출성능의 평가는 대부분 한정된 실험적 방법을 취하고 있다. 다양한 주사법들에 대하여 수리적으로 그 표적검출성능에 대하여 엄밀한 평가가 이루어진다면 제조업을 포함하는 다양한 머신비전(machine vision)기반의 자동시각인식응용(automatic visual inspection) 분야에서 표적 검출의 효율성을 크게 향상시킬 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 일반주사상주사법(GRS: Generalized Raster Scan), 방사상주사법

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 9. 9., 수정: 2012. 11. 12., 채택확정: 2012. 11. 26.

이문규: 계명대학교 경영공학과(moonkyu@kmu.ac.kr)

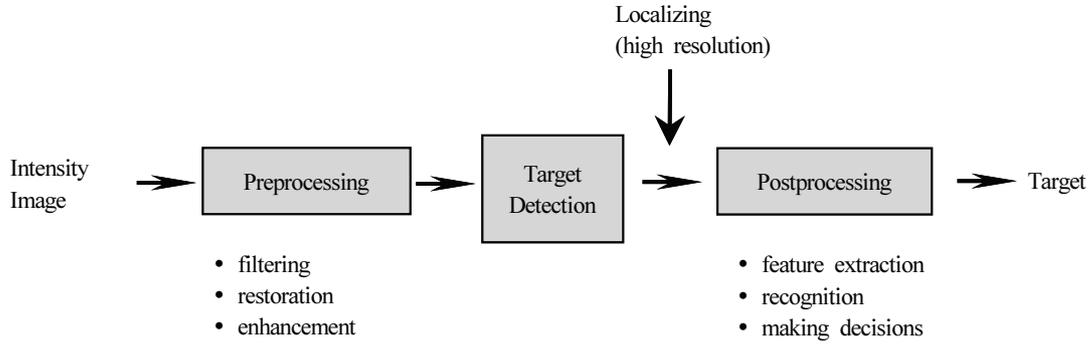


그림 1. 표적검출을 위한 대표적인 영상처리 과정.
Fig. 1. A typical image processing procedure for target detection.

(RS: Radial Scan), 코너주사법(CS: Corner Scan), 임의주사법 (RAN: Random Scan)의 4가지 주요 주사법 각각에 대하여 표적을 검출하게 되기까지 소요되는 기대주사면적비를 계산하고자 한다. 여기서 기대주사면적비는 표적이 영상에 임의의 위치에 존재한다고 할 때 영상 총면적 대비 표적검출에 이르기까지 검색한 평균면적의 비율로 정의된다. 이렇게 기대주사면적비가 계산이 되면 각 주사법들의 성능을 절대적으로 쉽게 비교할 수 있게 된다.

II. 표적 검출을 위한 주사법

1. 일반주사상주사법

이 주사법은 일반 모니터에 많이 사용하는 X축과 평행하게 화소들의 정보를 검색 또는 색상을 주사하는 래스터 주사법을 일반화하여 주사선이 X축과 이루는 특정 각도(θ)를 유지하도록 하는 주사법이다. 그림 2에서는 주사선이 우상귀에서 출발하여 각 화소를 검색하면서 영상내에 존재하는 표적을 검색하는 모습이 도시되어 있다. 주사선의 각도 θ 의 범위는 영상의 네모서리에서 주사하는 방법이 성능상 동일하기 때문에 $0 \leq \theta \leq 45$ 로 정의된다.

이 주사법을 적용하면 주사시작점이 있는 1사분면에 위

치하는 표적을 검출할 때는 매우 작은 면적만을 검색해도 된다. 그러나 주사시작점과 원점을 중심으로 대칭하는 위치에 있는 표적을 검출하기 위해서는 영상의 대부분을 검색해야 하므로 검색 효율이 매우 떨어지게 된다는 단점이 있다.

2. 방사상주사법

원점을 중심으로 하여 주사선이 방사선을 이루는 것이 이 주사법의 특징이다. 그림 3에서 보는 것처럼 영상의 원점에서부터 주사선을 따라 영상의 최외곽까지 각 화소를 검색한 후, 다시 원점으로 되돌아가 주사선을 시계방향(또는 반시계방향)으로 일정각도 회전하여 원점에서 반복 검색하게 된다. 본 연구에서는 주사선의 출발 위치를 Y축 +방향으로 가정하였다. 이 주사법을 활용하면 표적의 위치가 주사선 출발선인 +방향의 Y축으로부터 가까울수록 검색부하가 적고 그 반대일 경우, 즉 표적이 2사분면에 있을 경우에는 1, 4, 3사분면을 차례로 검색을 하고 추가로 2사분면에 위치한 표적을 만날 때까지 검색해야 하므로 검색효율이 매우 낮다.

3. 코너주사법

이 주사법은 그림 4에 도시된 바와 같이 영상 중심을 동일한 검색원점을 갖는 정사각형 모양의 주사선이 외곽으로 점차 커지도록 주사해나가는 방법이다. 따라서 표적이 원점

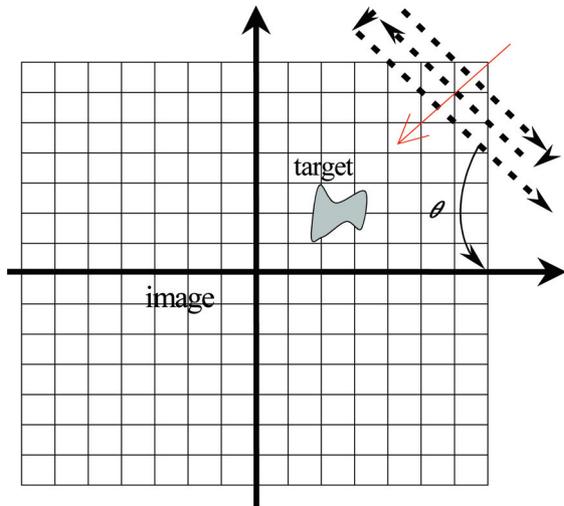


그림 2. 일반주사상주사법의 주사과정 예시.
Fig. 2. An illustration of the generalized scanning.

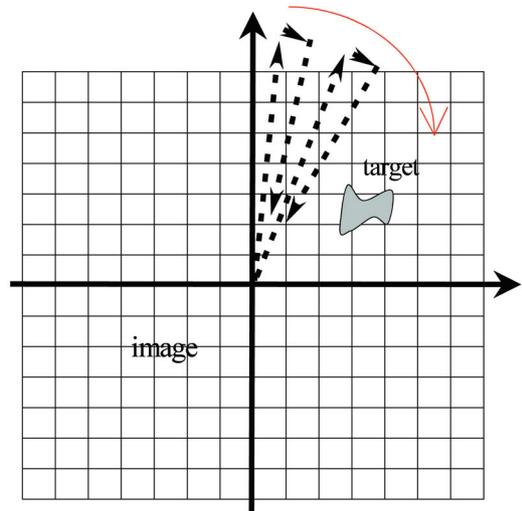


그림 3. 방사상주사법의 주사과정 예시.
Fig. 3. An illustration of the radial scanning.

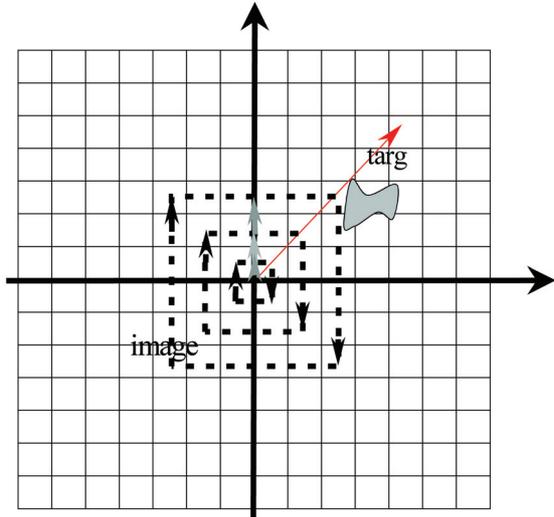


그림 4. 코너주사법의 주사과정 예시.
Fig. 4. An illustration of the corner scanning.

으로부터 가까이 있는 경우에는 검출성능이 우수하지만 표적의 위치가 외곽으로 갈수록 검출 성능이 현저히 저하된다.

이 주사법의 표적 검출에 필요한 검색화소수가 표적의 원점으로부터의 거리에 비례하여 4, 16, 36, 64의 순서로 급격히 증가하는 형태를 취하고 있다. 이러한 경향은 표적을 검출할 때 가능한 작은 면적의 영상을 우선적으로 검색하도록 하여 비록 표적이 외곽에 있는 가장 최악의 경우라 하더라도 검색면적을 최소화 할 수 있다는 장점이 있다. 주사시작점을 원점이 아닌 영상의 최외곽 모서리에 위치시키고 이로부터 주사하기 시작하여 영상 중심 방향으로 점차 안쪽으로 주사해가는 주사법과 비교해 본다면 이 와 같은 장점을 실감할 수 있을 것이다.

III. 기대주사면적비 계산

II 장에서 기술된 주사법들의 검색성능을 이론적으로 상대비교하기 위해서는 표적검출에 필요한 검색화소수를 서로 비교하여야 한다. 이 경우 전체 영상의 화소수(또는 해상도)에 따라 검색 성능이 다르게 나타나고 또한 이를 수리적으로 명확하게 표현할 수 없다. 그런데 대부분의 실제 영상의 해상도가 1,024X768 이상으로 매우 크다는 점을 고려하면 이산영상공간을 연속공간으로 변환하여도 성능 평가에 차이가 거의 없을 뿐만 아니라 연속공간에서는 기대성능을 수식으로 명확하게 나타낼 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 연속공간을 활용하여 기대주사면적비를 계산함으로써 각 주사법들의 검색성능을 비교하고자 한다.

이를 위하여 다음 사항들을 가정한다:

- 영상은 잡영(noise)이 없고 하나의 표적만 존재한다.
- 표적위치는 영상 상에 균등분포(uniform distribution)를 따른다.
- 실수영역에서 정의되는 영상의 크기는 한 변이 1인 정사각형으로 한다.
- 영상상의 표적은 한 변이 2r인 정사각형으로 한다.

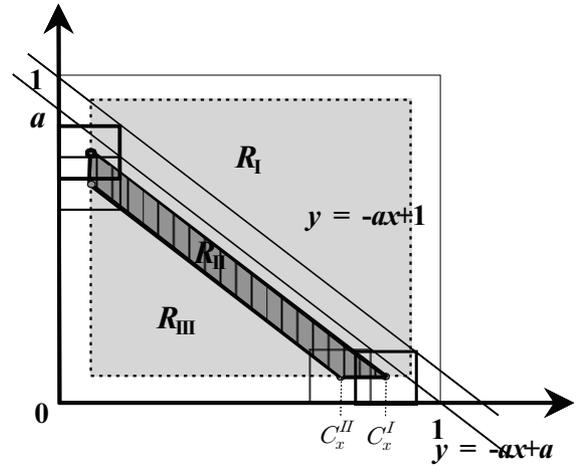


그림 5. 세 영역으로 구분된 래스터주사 영역.
Fig. 5. Raster scan area which is divided into three disjointed regions.

- 표적의 최대 크기는 전체 영상의 1/2로 한다(즉, $0 \leq r \leq 0.25$). (일반적으로 표적크기가 전체 영상에 비하여 매우 작다는 것을 고려하면 이 가정을 기반한 표적크기의 일반화에 무리가 없을 것으로 판단된다. 표적크기가 전체 영상의 1/2을 넘는 경우에는 표적 검색의 의미가 거의 없고 이 경우에도 본 연구에서 제시된 수식이 간단하게 정리될 것으로 판단되어 생략한다.)

1. 일반주사상주사법

일반주사상주사법을 이용하면 주사선이 X축과 이루는 각도 θ 가 0도부터 45도까지 자유롭게 변할 수 있고 또한 표적의 크기($=2r*2r$)도 다를 수 있으므로 이를 고려하면 다음과 같이 6가지 경우가 발생한다.

1) $0 \leq r \leq (3 - \sqrt{5})/4, 1 - 2r < a \leq 1$ 인 경우

그림 5에 주어진 주사선의 각도와 기울기와의

$$a = \tan(\theta) \tag{1}$$

의 관계에 있다. 이 때 그림에서 보는 바와 같이 표적이 위치하는 좌표 (C_x, C_y) 는 주사대상의 면적 모양에 따라 R_I, R_{II}, R_{III} 의 세 가지 지역 중 한 곳에 속하게 된다.

R_I 지역에 표적 좌표가 위치할 경우의 평균 주사면적 \bar{A}_I 은 특정 표적 위치좌표 (C_x, C_y) 에 대한 주사면적 $A(C_x, C_y)$ 와 균등분포 확률밀도함수 $f(C_x, C_y)$ 를 이용하여 계산된다. 여기서 확률밀도함수는 전체 영상면적에 걸쳐서 표적이 위치할 수 있기 때문에 $1/(1-2r)^2$ 가 된다. 표적이 R_I 지역에 위치할 경우에 $r \leq x < C_x^I$ 이면 $C_x^I \leq y \leq 1-r$ 이고, $C_x^I \leq x < 1-r$ 이면 $r \leq y \leq 1-r$ 이 된다. 또한 주사면적 $A_I(C_x, C_y)$ 는 그림 5에서 $y = -ax + 1$ 직선의 윗부분의 면적이므로

$$A_I(C_x, C_y) = ((1+a)(1-r) - aC_x - C_y)^2 / 2a$$

가 된다. 그러므로 평균 주사면적 \bar{A}_I 은 다음과 같이 계산

된다:

$$\begin{aligned} \overline{A_I} &= \iint A(C_x, C_y) f(C_x, C_y) dC_y dC_x \\ &= \int_r^{C_x^I} \int_{C_x^I}^{1-r} [A_I(C_x, C_y)/(1-2r)^2] dC_y dC_x \\ &\quad + \int_{C_x^I}^{1-r} \int_r^{C_x^I} [A_I(C_x, C_y)/(1-2r)^2] dC_y dC_x \\ &= [4a^3(1-2r(1+a)) + (a-1+2r)^4 \\ &\quad - a^4(1-2r)^4]/24a^2(1-2r)^2. \end{aligned}$$

단, $C_x^I = (1-2r)/a - r$.

유사한 방법으로 R_{II} , R_{III} 지역에 표적이 위치할 경우의 각각의 기대주사면적 $\overline{A_{II}}$, $\overline{A_{III}}$ 는 $C_x^{II} = 1 - (1+2/a)r$ 라 할 때 다음과 같이 구해진다:

$$\begin{aligned} \overline{A_{II}} &= \int_r^{C_x^{II}} \int_{a-r-ar-aC_x}^{1-r-ar-aC_x} [A_{II}(C_x, C_y)/(1-2r)^2] dC_y dC_x \\ &\quad + \int_{C_x^{II}}^{C_x^I} \int_r^{1-r-ar-aC_x} [A_{II}(C_x, C_y)/(1-2r)^2] dC_y dC_x \\ &= (1-a)(-2a^2 + 10a + 4 - 24r(1+a))/24a(1-2r)^2. \end{aligned}$$

단, $A_{II}(C_x, C_y) = (1+a/2 - (1+a)r - aC_x - C_y)$.

$$\begin{aligned} \overline{A_{III}} &= \int_r^{C_x^{II}} \int_r^{a-r-ar-aC_x} [A_{III}(C_x, C_y)/(1-2r)^2] dC_y dC_x \\ &= [12a(a-2r(1+a))^2 + 8a^3r(1+a) - 3a^4 \\ &\quad - 16(1+a)^4r^4]/24a^2(1-2r)^2. \end{aligned}$$

단, $A_{III}(C_x, C_y) = 1 - ((1+a)r + aC_x + C_y)^2/2a$.

결과적으로 이 경우의 기대주사면적

$$\begin{aligned} \overline{A_{GRS}} &= \overline{A_I} + \overline{A_{II}} + \overline{A_{III}} \\ &= [2a(2a^2 + 3a + 2) - 24ar(1+a)^2(1-2r) \\ &\quad - (1+a^4)(1-2r)^4 - 16(1+a)^4r^4]/24a^2(1-2r)^2 \end{aligned}$$

이 된다.

나머지 5가지 경우의 기대주사면적도 유사한 방법을 사용하여 아래와 같이 구해진다.

2) $0 \leq r \leq (3-\sqrt{5})/4$, $2r/(1-2r) < a \leq 1-2r$ 인 경우

$$\begin{aligned} \overline{A_{GRS}} &= [a^4(1-8r - (1-2r)^4) + 12a(a-2r(1+a)) \\ &\quad (1-2r(1+a)) + 4a((1-a/2)^3 - (1-a/2-2r)^3) \\ &\quad + 2a^3r(1+4a) - 16(1+a)^4r^4]/24a^2(1-2r)^2. \end{aligned}$$

3) $0 \leq r \leq (3-\sqrt{5})/4$, $0 \leq a \leq 2r/(1-2r)$ 인 경우

$$\begin{aligned} \overline{A_{GRS}} &= [a^3(1-2r)(1 - (1-2r)^3) + 4(1+a/2 - \\ &\quad - 2r(1+a))^3 - 4(1-a/2-2r)^3]/24a(1-2r)^2. \end{aligned}$$

4) $(3-\sqrt{5})/4 \leq r \leq 1/4$, $2r/(1-2r) < a \leq 1$ 인 경우

$$\begin{aligned} \overline{A_{GRS}} &= [2a(2a^2 + 3a + 2) - 24ar(1+a)^2(1-2r) - \\ &\quad (1+a^4)(1-2r)^4 - 16(1+a)^4r^4]/24a^2(1-2r)^2. \end{aligned}$$

5) $(3-\sqrt{5})/4 \leq r \leq 1/4$, $1-2r < a \leq 2r/(1-2r)$ 인 경우

$$\begin{aligned} \overline{A_{GRS}} &= [a^3(1-2r(1+a)) + a^4/2 - (1+a^4)(1-2r)^4 \\ &\quad + 4a(1+a/2 - 2r(1+a))^3]/24a^2(1-2r)^2. \end{aligned}$$

6) $(3-\sqrt{5})/4 \leq r \leq 1/4$, $0 \leq a \leq (1-2r)$ 인 경우

$$\begin{aligned} \overline{A_{GRS}} &= [a^3(1-2r)(1 - (1-2r)^3) + 4(1+a/2 - \\ &\quad 2r(1+a))^3 - 4(1-a/2-2r)^3]/24a(1-2r)^2. \end{aligned}$$

여기서 주사각도 $\theta = 0$ 이면 a 도 0이 되는데 이러한 극한의 경우는 TV나 컴퓨터 모니터의 영상정보 송출에 사용하는 래스터주사와 일치하게 되고 이때의 기대주사면적은

$$\lim_{a \rightarrow 0} \overline{A_{GRS}} = \lim_{a \rightarrow 0} \overline{A_{GRS}} = 0.5 - r$$

이 된다.

2. 방사상주사법

영상의 중앙을 원점으로 하면 원점을 중심으로 하여 4개의 동일한 크기와 모양을 가진 사분면으로 나뉜다. 이때 표적이 위치하는 범위는 표적의 크기를 고려하면 그림 6에서 점선으로 표시된 부분이 된다. 이 표적의 전체 범위는 원점을 중심으로 하는 표적 크기만큼의 영역을 제외하면 원점으로부터 출발하는 주사선이 속하는 위치에 따라 그림 6에서 보는 바와 같이 4부분으로 나뉜다. 우선 일사분면에 주사선이 위치할 때의 평균 주사면적 $\overline{A_1}$ 은 다음과 같이 구해진다.

1사면의 표적위치는 주사선 $y = (C_y + r)x / (C_x - r)$ 의 기울기가 1보다 큰 경우와 그렇지 않은 경우로 구분된다. 기울기가 1보다 큰 경우는 $C_x - r \leq C_y + r$ 이고 이때의 주사면적은 Y축으로부터 계산하면 $(C_x - r)/8(C_y + r)$ 이 된다. 마찬가지로 기울기가 1보다 작은 경우의 주사면적은

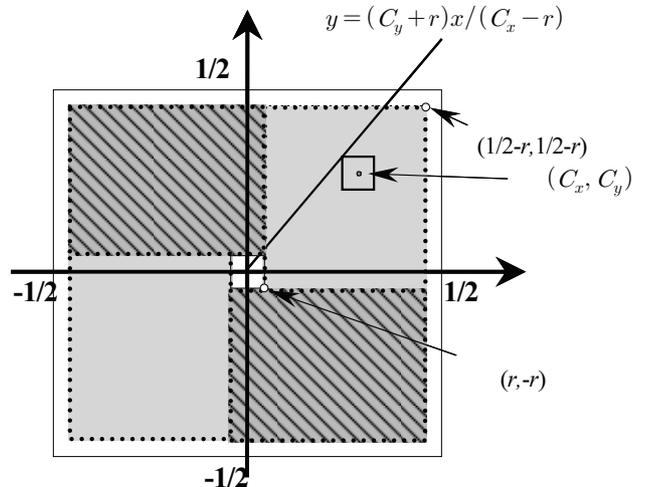


그림 6. 4영역으로 구분된 방사상주사 영역.

Fig. 6. Four disjointed radial scanning regions.

$(2 - (C_y + r)/(C_x - r))/8$ 이 된다. 따라서 기대주사면적은 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \overline{A}_1 &= \frac{1}{1/4 - r} \left[\int_r^{1/2-r} \int_{C_x-2r}^{1/2-r} \frac{C_x - r}{8(C_y + r)} dC_y dC_x \right. \\ &\quad \left. + \int_r^{1/2-r} \int_{-r}^{C_x-2r} \frac{1}{8} \left(2 - \frac{C_y + r}{(C_x - r)} \right) dC_y dC_x \right] \\ &= (1 - 4r)(2 - \ln(1 - 4r))/16. \end{aligned}$$

한편 표적이 2, 3, 4사분면에 있을 때의 평균 주사면적이 각각 $\overline{A}_1 + (1/2 - r)/2$, $\overline{A}_1 + (1/2 - r)$, $\overline{A}_1 + 3(1/2 - r)/2$ 이므로 이들을 모두 고려한 방사상 주사법의 기대주사면적비

$$\overline{A}_{RS} = [(3/2 - 6r)(1/4 - r) + (1 - 4r)^2(2 - \ln(1 - 4r))]/16 / (1 - 2r)^2$$

이 된다.

3. 코너주사법

코너주사에서는 주어진 표적을 검출하기 위하여 필요한 주사영역은 원점으로부터 출발하여 반시계 방향으로 회전하여 검색하다가 표적을 만나게 되면 중지하게 되므로 이를 연속공간에서 표현하면 그림 7에서 보는 바와 같이 정사각형 모양이 된다. 표적이 1사분면에 있을 경우에는 표적의 하단이나 왼쪽 측면을 만나게 되면 검색을 중지하게 된다. 그러므로 표적 중심의 위치가 (C_x, C_y) 에 위치할 때 검색영역의 크기를 일반적으로 나타내면 $[\max(C_x - r, C_y - r)]^2$ 가 된다. 표적의 위치가 1사분면에 있을 때를 가정하여 1사분면의 기대주사면적 \overline{A}_1 은 아래와 같이 구해진다.

표적이 원점 주위의 한 변이 $2r$ 인 정사각형 내에 있으면 검색이 필요 없기 때문에 C_x, C_y 의 범위는 $r \leq C_x, C_y \leq 1/2 - r$ 이므로

$$\begin{aligned} \overline{A}_1 &= \int_r^{1/2-r} \int_r^{1/2-r} [(\max(C_x - r, C_y - r))^2 / (1/2 - r)^2] dC_y dC_x \\ &= \frac{1}{(1/2 - r)^2} \left(\int_r^{1/2-r} \int_{C_y \geq C_x} (C_y - r)^2 dC_y dC_x + \int_r^{1/2-r} \int_{C_y < C_x} (C_x - r)^2 dC_y dC_x \right) \\ &= \frac{1}{(1/2 - r)^2} \left(\int_r^{1/2-r} \int_{C_x}^{1/2-r} (C_y - r)^2 dC_y dC_x + \int_r^{1/2-r} \int_r^{C_x} (C_x - r)^2 dC_y dC_x \right). \end{aligned}$$

여기서 $x = C_x - r$, $y = C_y - r$ 로 각각 치환하면

$$\begin{aligned} \overline{A}_1 &= \frac{1}{(1/2 - 2r)^2} \left(\int_0^{1/2-2r} \int_x^{1/2-2r} y^2 dy dx \right. \\ &\quad \left. + \int_0^{1/2-2r} \int_0^x x^2 dy dx \right) \\ &= (1/2 - 2r)^2 / 2 \end{aligned}$$

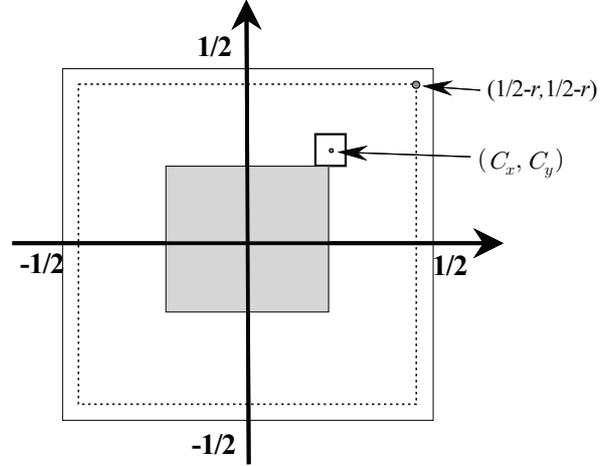


그림 7. 주어진 표적 검출에 필요한 코너주사 면적.

Fig. 7. Spiral scan area needed for a given target.

가 된다. 따라서 4사분면을 모두 고려하면 코너주사법의 전체 검색영역 대비 기대주사면적비는 \overline{A}_1 의 4배가 되므로

$$\overline{A}_{CS} = 2(1/2 - 2r)^2$$

이 된다.

4. 임의주사법

표적을 찾기 위한 주사 작업은 실제로는 영상상에서 화소 단위로 이루어진다. 지금까지는 그러나 각 주사법에 따른 검색 작업의 부하를 측정하기 위하여 편의상 화소단위의 이산공간을 연속공간으로 전환하여 분석하였다. 임의주사법은 그 특성상 이러한 연속공간을 이용한 분석이 용이하지 않기 때문에 이산공간을 사용하여 분석한다. 우선 필요한 용어를 아래와 같이 정의한다:

- N = 영상의 X축 또는 Y축 상에 있는 화소의 개수;
- n = 표적의 X축 또는 Y축 상에 있는 화소의 개수;
- p = 영상면적 대비 표적 면적의 비율 = n^2/N^2 ;
- Y = 주어진 표적을 검출하는 데 성공한 횟수.

임의주사법에서 1회의 검색은 영상상에 있는 하나의 화소를 임의로 선택하여 그것이 표적내에 있는지를 확인하는 작업을 의미한다. 그러므로 1회의 검색에서 표적을 검출할 확률, 즉 성공확률은 영상면적 대비 표적 면적의 비율인 p 가 된다. 이때 검출에 성공하는 데 필요한 검색 횟수는 다음과 같이 기하분포를 따르게 된다.

$$Y \sim \text{Geo}(p); \Pr(Y = y) = p(1 - p)^{y-1}, y = 1, 2, \dots$$

이 분포의 누적확률분포는 $\Pr(Y \leq y) = 1 - (1 - p)^y$ 이므로 허용오차수준 α 를 만족하는 검색횟수는

$$1 - (1 - p)^y \geq 1 - \alpha$$

을 만족하는 y 값인 $y_0 = \ln_{1-p} \alpha$ 가 된다. 따라서, 임의주사법을 적용할 경우 허용오차수준 α 를 만족하는 평균적인 검색면적비율은 필요한 검색횟수를 총화소수인 N^2 으로 나눈 값이므로

$$\overline{A_{RAN}} = (\ln_{1-p}\alpha)/N^2 = (\ln_{1-n^2/N^2}\alpha)/N^2 \quad (2)$$

으로 계산된다. 여기서 허용오차수준을 고려해야 하는 이유는 검색 횟수를 무한히 반복해야 검출이 보장되는 임의주사법만의 특징을 반영하여 주어진 오차수준하의 총검색횟수를 필요한 검색 화소수로 간주하여 기대주사면적비를 계산하기 위함이다.

검색성능은 전체 영상면적에 대한 기대주사면적의 비율이므로 일반주사상주사법, 방사상주사법, 코너주사법에 대한 기대주사면적비는 각 주사법의 기대주사면적을 전체 영상면적으로 나누면 되는데 영상전체의 면적이 1이므로 그 값은 기대주사면적과 동일하게 된다.

IV. 검색간소화(decimation)

지금까지 표적검색을 위한 4가지 대표적인 주사법에 대하여 이론적 검색성능을 나타내는 기대주사면적을 계산하였다. 이러한 주사법들을 실제로 적용할 때에는 영상상에 나타나는 표적에 대한 크기를 알 수 있는 경우 검색 시간을 최소화하기 위하여 모든 화소들을 검색하지 않고 총검색영역을 중복 없이 분할한 후 각 분할영역에 속한 화소들 중 하나만을 검색하도록 하고 있다(Gertner and Zeevi, 1991). 여기서는 각 주사법들을 실제 영상검색에 응용할 때 사용할 수 있는 검색 간소화 방법을 소개한다.

우선 일반주사상주사법을 적용하기 위해서는 주사선의 각도가 정해져야 하는데 다음 절에 기술된 바와 같이 검색 성능이 가장 우수한 주사각도 $\theta = 45^\circ$ 를 기준으로 한다. 이때의 주사선을 따라 $n \times n$ 블록을 주사단위로 하여 주사하면, 예로서 $n=3$ 일 때 총 9개의 화소 중 1개만 선택하면 되므로 그림 8에서 보는 바와 같이 기대주사면적이 $1/n^2$ 로 줄어들게 된다. 이런 경우 표적의 크기가 $n \times n$ 블록 이상이면 그 위치에 상관없이 항상 검출 가능하다. 그림 9와 10에

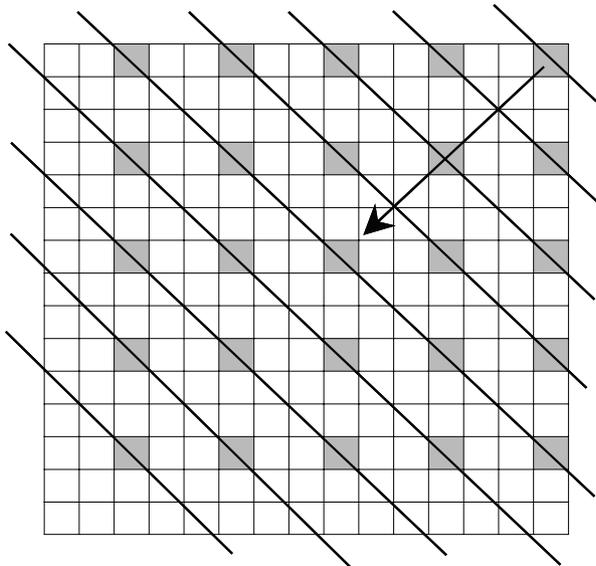


그림 8. 일반래스터주사법에 대한 1/9 검색간소화의 예.
Fig. 8. Decimated scanning by a factor of 9 for the generalized raster scan.

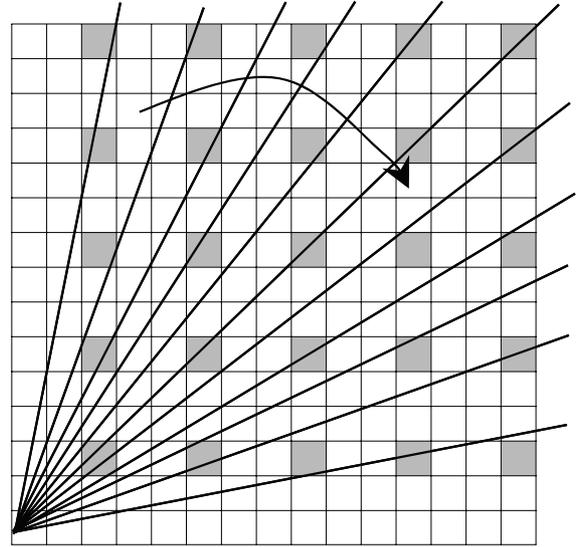


그림 9. 방사상주사법에 대한 1/9 검색간소화의 예.
Fig. 9. Decimated scanning by a factor of 9 for the radial scan.

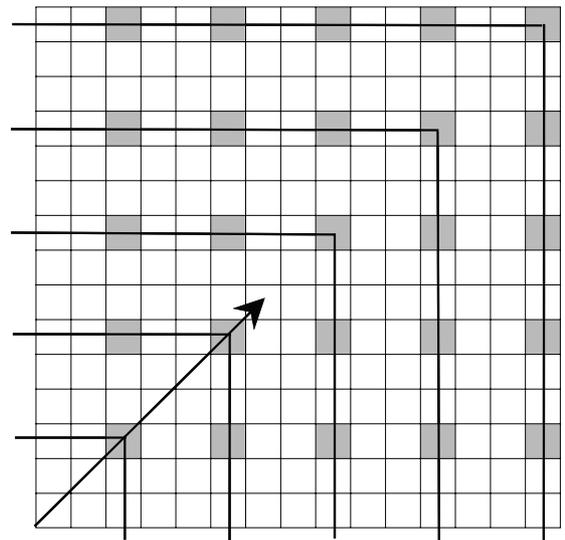


그림 10. 코너주사법에 대한 1/9 검색간소화의 예.
Fig. 10. Decimated scanning by a factor of 9 for the coner scan.

서는 1사분면 영상에 대하여 방사상주사법과 코너주사법의 검색간소화 예를 보여주고 있다.

검색간소화가 이루어지는 경우, 표적의 크기가 $n \times n$ 이라 할 때 그 기대주사면적비는 간소화를 수행하지 않은 경우의 기대주사면적비의 $1/n^2$ 로 줄어들어 검색시간을 크게 절감할 수 있다. 예로서 방사상주사법과 코너주사법의 경우, 간소화가 수행될 때의 기대주사면적비는 각각

$$\overline{A_{DRS}} = \overline{A_{RS}}/n^2 = [(3/2 - 6r)(1/4 - r) + (1 - 4r)^2(2 - \ln(1 - 4r))]/16/(n - 2nr)^2,$$

$$\overline{A_{DCS}} = \overline{A_{CS}}/n^2 = 2(1/2 - 2r)^2/n^2$$

이 된다. 마찬가지로 일반주사상주사법의 경우, 간소화 수

행시 기대주사면적비는 $\overline{A_{DGRS}} = \overline{A_{GRS}}/n^2$ 이 되는데 구체적인 수식은 3.1절에서 유도된 것을 이용하면 되므로 생략한다.

V. 계산 결과

지금까지 각 4가지 주사방법에 대하여 주사성능을 평가할 수 있는 지표인 기대주사면적비를 통계적 기댓값의 개념을 이용하여 도출하였다. 여기서는 이러한 이론적 결과를 실제 영상구조에 응용한 결과를 제시함으로써 주사법들의 상대적인 성능평가를 수행한다.

카메라로부터 들어오는 영상의 크기는 카메라 해상도, 영상처리보드(digital signal processor와 frame grabber) 등에 영향을 받는데 여기서는 편의상 1,000X1,000의 해상도를 갖는 것으로 가정하였다. 이러한 영상은 $N = 1,000$ 이 되고, 표적의 크기 $n = 30\sim 500$ 까지 10의 간격으로 변할 수 있게 하였다. 임의주사법의 경우에는 허용오차수준 α 의 값이 이론적으로는 0이어야 하나 (2)식에서 정의가 안 되기 때문에 실험에 사용된 소프트웨어인 MATLAB 7.1에서 정의하는 0에 가장 가까운 최소값인 4.94066E-324를 사용하였다. 참고로 연속공간내에서의 표적의 크기 r 은 실제 표적의 크기로부터 $r = n/2N$ 으로 구해진다.

1. 일반주사상주사법의 주사선의 최적각도

일반주사상주사법을 이용하려면 주사선의 각도를 정해져야 한다. 3.1절에서 유도된 바와 같이 주사선의 각도에 따라 기대주사면적비가 다르기 때문에 결과적으로 주사성능도 달라진다. 그림 11에서는 $r = 0.1$ (즉, $n = 200$) 일 때 주사선의 각도 θ 를 0도부터 45도까지 변함에 따른 기대주사면적비를 보여주고 있다. 이로부터 $\theta = 45^\circ$ 일 때 기대주사면적비가 최소가 됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 최적 주사각에 대하여 일반인도 쉽게 가질 수 있는 직관적 생각과 일치한다. 또한 그림에서 보면 기대주사면적비는 각도 θ 의 볼록함수인 것으로 강하게 짐작이 되는데 이는 (1)의 관계에 따라 3.1절의 기대주사면적비에 대한 수식으로부터 증명되어야 하나 수식이 매우 복잡하여 엄밀하게 수학적으로 증명할 수는 없었다.

그림 11에서 보듯이 최적 주사각도인 $\theta = 45^\circ$ 인 경우의

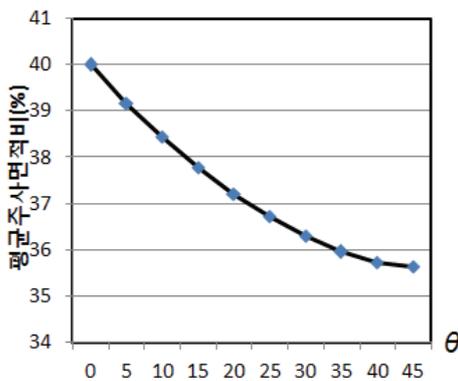


그림 11. 주사각도의 변화에 따른 일반래스터주사법의 평균주사면적비.

Fig. 11. The average scanning ratio for the GRS against the angle of the scanning line.

기대주사면적비는 표준 래스터주사법인 $\theta = 0^\circ$ 경우에 비하여 10.9 % 감소한 것으로 나타나 검색성능 향상이 상당함을 알 수 있다.

2. 기대주사면적비에 의한 성능비교

각 주사법에 대한 성능비교를 위하여 검색 간소화를 수행할 경우와 그렇지 않은 경우로 구분하여, 우선 그림 12(a)에서는 간소화 없는 경우의 기대주사면적비를 도시하였다 (GRS의 경우는 최적 주사각도를 사용하여 산출한 값임). 이 그림 12(b)에서는 간소화를 수행한 경우 임의주사법이 다른 주사법에 비하여 표적크기(r 로 표기)에 상관없이 매우 열등하기 때문에 제외되어 나머지 3가지 주사법에 대한 기대주사면적들이 비교되어 있다. 표 1에서는 검색 간소화를 생략할 경우 r 값의 변화에 따른 4가지 주사법에 대한 기대주사면적비 값(여기서는 %로 표시)이 주어져 있다. 이들로부터 다음과 같은 사실들이 관찰되었다:

2.1 검색간소화를 수행하지 않는 경우

(1) 각 주사법의 기대주사면적비 값은 r 값에 상관없이 $CS < RS < GRS$ 의 순서를 따른다.

(2) RAN의 기대주사면적비 값이 r 값이 증가함에 따라 급격히 감소하게 되어 그 값이 특정 경계치 $r = r_0$ 보다 작을 경우에는 다른 주사법들의 기대주사면적비 값들보다 월등히 크지만 이 경계치를 넘어서면 그 값이 상대적으로 작아진다. 즉

$$CS < RS < GRS < RAN \text{ for } r \leq r_0;$$

$$RAN < CS < RS < GRS \text{ for } r > r_0$$

표 1. r 값의 변화에 따른 평균주사면적비.

Table 1. Average scanning ratios(%) of the four scanning methods against r values.

n	r	GRS	RS	CS	RAN
10	0.005	49.33	49.119	48.02	744.403
20	0.01	48.654	48.225	46.08	186.073
30	0.015	47.971	47.318	44.18	82.678
40	0.02	47.282	46.399	42.32	46.49
50	0.025	46.588	45.466	40.5	29.74
60	0.03	45.888	44.521	38.72	20.642
70	0.035	45.182	43.562	36.98	15.155
80	0.04	44.471	42.591	35.28	11.595
90	0.045	43.756	41.606	33.62	9.153
100	0.05	43.036	40.608	32	7.407
110	0.055	42.312	39.597	30.42	6.115
120	0.06	41.583	38.573	28.88	5.132
130	0.065	40.851	37.535	27.38	4.368
140	0.07	40.115	36.485	25.92	3.761
150	0.075	39.377	35.422	24.5	3.271
160	0.08	38.635	34.346	23.12	2.871
170	0.085	37.891	33.258	21.78	2.539
180	0.09	37.144	32.157	20.48	2.26
190	0.095	36.396	31.045	19.22	2.025
200	0.1	35.646	29.921	18	1.824
250	0.125	31.887	24.148	12.5	1.153
300	0.15	28.148	18.197	8	0.789
400	0.2	20.963	6.673	2	0.427
500	0.25	14.583	0	0	0.259

와 같이 순서화 된다. 표 1에서 보는 바와 같이 본 실험의 경우 r_0 는 최소한 0.02보다는 클 것으로 보인다.

(3) 표적의 크기가 작을 경우에는 GRS가 RS와 CS에 큰 차이가 없으나 크기가 증가함에 따라 GRS에 비하여 RS와 CS가 월등히 유리해진다.

2.2 검색간소화를 수행한 경우

검색간소화를 수행하게 되면 기대주사면적비가 그렇지 않은 경우의 $1/n^2$ 의 비율로 줄어들게 되어 표적의 크기가 커질수록 검색 성능이 크게 향상되어 RAN과의 비교는 무의미하게 된다. 실제로 본 실험의 경우에는 r 값이 0.125이상 이 되면 GRS, RS, CS의 기대주사면적비가 거의 0에 수렴하게 됨을 알 수 있었고 그림 12(b)에서 보는 것처럼 이 주사법들 간의 차이는 상당히 적게 나타났다.

이상의 실험결과는 해상도 1,000X1,000의 영상을 대상으로 한 결과이나 해상도가 크게 다르다하더라도 각 주사법의 검색성능에 대한 경향은 다르지 않을 것으로 보인다.

VI. 결론

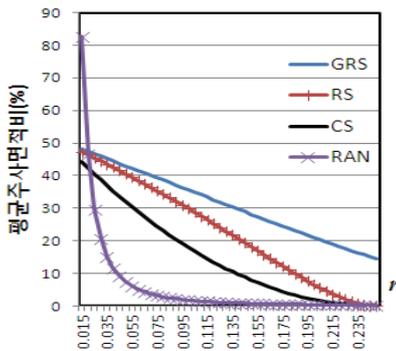
본 연구에서는 영상검색에서 흔히 사용하는 주사법들에 대하여 주어진 표적을 검색할 수 있는 검색성능을 이론적으로 평가하여 보았다. 평가방법은 간단한 통계적 기법을 이용하여 각 주사법에 대하여 표적을 검출하는 데 요구되는 기대주사면적비를 구하여 이를 실제 영상구조에서 비교하는 것이다.

계산결과 검색간소화를 수행하지 않는 경우에는 특정 이

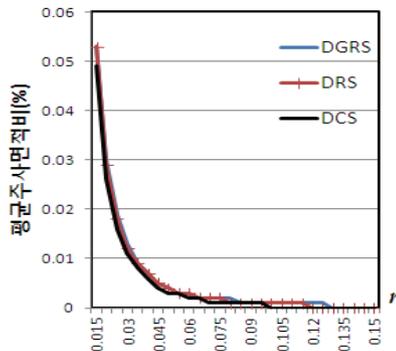
상의 크기를 가진 표적을 검출하는 데 임의주사법이 유리하나, 표적의 크기가 상당히 작은 경우에는 코너주사법, 방사상주사법, 일반주사상주사법의 순으로 유리함이 확인되었다. 또한 검색간소화를 수행하면 어느 경우나 코너주사법, 방사상주사법, 일반주사상주사법의 순으로 유리하여, 영상이 주어진 경우 가능한 검색간소화를 수행하는 것이 주사 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 표적의 크기를 미리 예측할 수 없는 일반적인 현실 상황에서는 검색간소화를 수행하기가 어렵다. 그러므로 표적크기를 미리 확인한 후에 코너주사법을 이용하여 검색한다면 검색효율을 극대화시킬 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] J. Wilder, "Finding and evaluating defects in glass," *Machine Vision for Inspection and Measurement*, Academic Press, Inc., pp. 237-255, 1989.
- [2] H.-F. Ng, "Automatic thresholding for defect detection," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 14, pp. 1644-1649, 2006.
- [3] T.-H. Kim and T.-L. Song, "Adaptive automatic thresholding in infrared image target tracking," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 6, pp. 579-586, 2011.
- [4] Y.-H. Jung, E.-S. Park, H.-H. Lee, D.-C. Wang, U.-Y. Huh, and H.-I. Kim, "Moving object detection using SURF and label cluster update in active camera," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 1, pp. 35-41, 2012.
- [5] I. Gertner and Y. Zeevi, "Scanning strategies for target detection," *SPIE*, vol. 1470 (*Data Structures and Target Classification*), pp. 148-166, 1991.
- [6] D. A. Talleur and C. D. Wickens, "The effect of pilot visual scanning strategies on traffic detection and accuracy and aircraft control," *Proc. of the 12th Int. Symposium on Aviation Psychology*, pp. 1-6, 2003.
- [7] H.-Y. Song, *Accuracy of Facial Image Reconstruction by Various 3D Laser Scanning Angulations and Times*, MS Thesis, Department of Dental Science, Chonnam National University, Gwangju, Korea, 2008.
- [8] K. Harbusch and M. Kuhn, "An evaluation study of two-button scanning with ambiguous keyboards," *Proc. of the EACL workshop on Language Modeling for Text Entry Methods*, Stroudsburg, PA, USA, pp. 1-6, 2003.



(a) Undecimated scanning ratios.



(b) Decimated scanning ratios.

그림 12. 검색간소화 적용 여부에 따른 평균주사면적비.
Fig. 12. The average scanning ratios for the undecimated and decimated cases.



이 문 규

1979년 서울대학교 산업공학과 졸업. 1981년 KAIST 석사. 1989년 동대학 박사. 1985년~현재 계명대학교 경영공학과 교수. 관심분야는 생산자동화, 인공지능응용, 물류시스템.