



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년06월15일
(11) 등록번호 10-0963651
(24) 등록일자 2010년06월07일

(51) Int. Cl.

G06T 17/50 (2006.01) G06T 9/20 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0021103

(22) 출원일자 2009년03월12일

심사청구일자 2009년03월12일

(56) 선행기술조사문헌

KR100857529 B1

KR100792597 B1

KR1020000072812 A

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울 광진구 군자동 98 세종대학교

(72) 발명자

이동천

서울 용산구 청파동3가 132-12 효창리츠빌
102-302

정형섭

서울 강남구 논현동 271-18 모던빌 102호

임새봄

서울특별시 노원구 공릉2동 240-80

(74) 대리인

이명택, 정중원, 최지연

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 문남두

(54) 항공라이다자료를 이용한 건물외곽선 자동 추출 방법

(57) 요약

본 발명은 불규칙 격자를 지니는 3차원 라이다 점 자료를 이용하여 건물에 해당되는 라이다 점을 찾은 후 건물 외곽선에 해당하는 점을 추출하여 단순화 및 규격화를 통하여 정확한 건물 외곽선을 자동적으로 추출하는 방법에 관한 것이다.

본 발명의 항공 라이다자료를 이용한 건물 외곽선의 자동추출 방법은 불규칙한 항공 라이다자료로부터 수목에 해당하는 자료를 제거하는 단계(S1); 수목이 제거된 라이다자료에서 지면과 비지면 자료를 분리하고, 비지면 자료에서 건물에 해당하는 자료를 추출하는 단계(S2); 추출된 모든 건물 자료를 각 건물별로 그룹화하는 단계(S3); 그룹화된 각 건물의 외곽점을 추출하는 단계(S4); 각 건물의 외곽점들에서 건물 코너점을 추출하는 단계 (S5); 추출된 건물 코너점들 사이에 존재하는 외곽점들을 선형화하여 건물 외곽선을 단순화 및 규격화하는 단계(S6)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

개발된 본 발명의 기술은 항공 라이다 자료를 이용하여 3차원 건물 모델링의 효율성과 정밀도를 높일 수 있으며, 특히 국내 3차원 GIS 및 도시정보 시스템, 각종 시설물 관리, 자동차 항법 시스템, 위치정보서비스, 가상도시, 재해재난 감시 및 분석, 응급 대응시스템 등의 분야에서 활용될 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10540

부처명 서울특별시

연구사업명 전략사업 혁신 클러스터 육성 지원사업

연구과제명 서울형 공간정보산업 활성화를 위한 핵심 및 응용 기술의 혁신

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2005년 12월 01일~ 2010년 11월 30일

특허청구의 범위

청구항 1

불규칙한 항공 라이다자료로부터 수목에 해당하는 자료를 제거하는 단계(S1);

수목이 제거된 라이다자료에서 지면과 비지면 자료를 분리하고, 비지면 자료에서 건물에 해당하는 자료를 추출하는 단계(S2);

추출된 모든 건물 자료를 각 건물별로 그룹화하는 단계(S3);

그룹화된 각 건물의 외곽점을 추출하는 단계(S4);

각 건물의 외곽점들에서 건물 코너점을 추출하는 단계 (S5);

추출된 건물 코너점들 사이에 존재하는 외곽점들을 선형화하여 건물 외곽선을 단순화 및 규격화하는 단계(S6)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 항공 라이다자료를 이용한 건물 외곽선의 자동추출 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 (S1)단계는 평면 피팅 방법을 이용하여 불규칙한 라이다자료에서 수목에 해당하는 자료를 제거한 것을 특징으로 하는 항공 라이다자료를 이용한 건물 외곽선의 자동추출 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 (S1)단계 이후에

평면 피팅 방법을 이용하여 제거된 자료 중 건물의 모서리점에 해당하는 자료를 복원하는 단계(S11);를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 항공 라이다자료를 이용한 건물 외곽선의 자동추출 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 (S2)단계는 히스토그램 분석기법을 이용하여 지면과 비지면 자료를 분리한 것을 특징으로 하는 항공 라이다자료를 이용한 건물 외곽선의 자동추출 방법.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 (S4)단계는

건물 내부를 충전(filling)하는 단계(S41);

건물 경계를 스무딩(smoothing)하는 단계(S42);

시작점(seed point)를 결정하는 단계(S43);

건물 외곽점을 찾는 단계(S44)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 항공 라이다자료를 이용한 건물 외곽선의 자동추출 방법.

청구항 6

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 (S5)단계는

추출된 코너점들 사이에 존재하는 건물 외곽점들을 선형방정식에 피팅하여 단순화하고, 단순화된 건물 외곽점들을 건물의 각 변들에 대하여 수평 및 수직 조건을 부여하여 규격화하는 것을 특징으로 하는 항공 라이다자료를 이용한 건물 외곽선의 자동추출 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 항공라이다 자료를 이용한 건물 외곽선을 자동으로 추출하기 위한 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 불규칙 격자를 지나는 3차원 라이다 점 자료를 이용하여 건물에 해당되는 라이다 점을 찾은 후 건물 외곽선에 해당하는 점을 추출하여 단순화 및 규격화를 통하여 정확한 건물 외곽선을 추출하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 지형 공간정보는 세계대전이 발발하면서 상대방의 위치 포착 및 미사일 발사 위치 측정 등과 같은 전략적인 군사적 목적에 의해 고정밀의 위치정보에 대한 필요성이 제기되었으며 그 이후에도 여러 가지 목적에 의해 3차원 위치정보가 빠른 속도로 발전해왔다. 현재 위치정보는 지구의 변화 탐지 및 환경 변화와 같은 요인들을 분석하고 예측하는데 활용되고 있으며, 더 나아가 전문가가 아닌 일반인들에게도 위치정보가 중요한 요인으로서 밀접하게 연관되어 일상생활에 영향을 미치고 있는 만큼 지형 공간정보에 대한 중요성이 커지고 있으며, 그 수요와 관심 또한 증가하고 있다.

[0003] 3차원 정보가 지리정보에 있어서 하나의 중요한 역할을 하고 있는 만큼 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 각종 센서로부터 3차원 정보를 얻는 기술 또한 점차 발달하고 있다. 즉, 사진측량 기술을 활용하여 항공사진으로부터 3차원 정보를 추출하거나, 인공위성을 활용한 원격탐사 등으로 지형 및 해양 변화 탐지 및 GPS, INS 등과 같은 Georeference 시스템 등이 빈번하게 사용되고 있으며, 이와 같은 데이터들을 융합하여 좀 더 정밀하고 사실적인 3차원 정보를 추출할 수 있는 기술에 대한 연구가 증가하고 있는 추세이다.

[0004] 라이다(LIDAR)는 Light Detection and Ranging의 약자로 레이저 스캐너가 탑재된 항공기에서 레이저 포인트를 발사하여 멀리 떨어져 있는 지형지물 및 지표면의 거리를 측정하여 디지털 지형정보를 획득하는 광학 원격탐사 기술 중 하나로 3차원 공간 좌표를 얻을 수 있는 대표적인 방법이다. 최근에는 3차원 위치정보가 시각적인 요소뿐만 아니라 고정밀의 신뢰성 있는 정보를 요구하고 있는데 이와 같은 이유 때문에 라이다는 매우 유용하고 다양한 위치 정보를 제공할 수 있는 최적으로 소스로서 각광 받고 있다. 이 시스템은 넓은 지역에 대한 다량의 3차원 공간좌표 데이터(X, Y, Z)와 반사강도(LIDAR intensity return value)를 신속하고 정확하게 획득할 수 있을 뿐 만 아니라, 항공사진과는 달리 기상조건에 영향을 덜 받으며 주야에 관계없이 데이터 획득이 가능한 장점을 지닌다.

[0005] 이에 공간정보를 기반으로 하고 있는 고고학, 지리학, 지질학, 지형학, 지진학, 해양학, 원격탐사 등과 같은 여러 가지 응용 분야에서도 라이다가 중요한 기술로서 활용되고 있다.

[0006] 최근에는 상업용 라이다 시스템이 보편화됨에 따라 라이다 자료로부터 건물을 추출하는 방법이 많은 연구자들에 의해서 제안되어져 왔고, 그 방법의 효율성과 성능은 향상되고 있지만, 현재까지도 개선 및 향상되어야 할 부분과 특히 자동화를 위한 핵심기술의 필요성이 있으므로 이를 위한 많은 연구와 기술개발이 이루어지고 있으며, 괄목할만한 효율성과 성능의 향상의 성취는 인공구조물에 대한 모델링을 요구하는 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0007] 본 발명은 상기와 같은 점을 감안하여 안출된 것으로서, 불규칙 격자를 지나는 3차원 라이다 점 자료를 이용하여 건물에 해당되는 라이다 점을 찾은 후 건물 외곽선에 해당하는 점을 추출하여 단순화 및 규격화를 통하여 정확한 건물 외곽선을 자동적으로 추출하는 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제 해결수단

[0008] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 항공 라이다자료를 이용한 건물 외곽선의 자동추출 방법은

[0009] 불규칙한 항공 라이다자료로부터 수목에 해당하는 자료를 제거하는 단계(S1);

[0010] 수목이 제거된 라이다자료에서 지면과 비지면 자료를 분리하고, 비지면 자료에서 건물에 해당하는 자료를 추출

하는 단계(S2);

[0011] 추출된 모든 건물 자료를 각 건물별로 그룹화하는 단계(S3);

[0012] 그룹화된 각 건물의 외곽점을 추출하는 단계(S4);

[0013] 각 건물의 외곽점들에서 건물 코너점을 추출하는 단계 (S5);

[0014] 추출된 건물 코너점들 사이에 존재하는 외곽점들을 선형화하여 건물 외곽선을 단순화 및 규격화하는 단계(S6)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0015] 그리고 상기 (S1)단계는 평면 피팅 방법을 이용하여 불규칙한 라이다자료에서 수목에 해당하는 자료를 제거한 것을 특징으로 하고,

[0016] 상기 (S1)단계 이후에

[0017] 평면 피팅 방법을 이용하여 제거된 자료 중 건물의 모서리점에 해당하는 자료를 복원하는 단계(S11);를 더 포함하는 것을 특징으로 하고,

[0018] 상기 (S2)단계는 히스토그램 분석기법을 이용하여 지면과 비지면 자료를 분리한 것을 특징으로 하고,

[0019] 상기 (S4)단계는

[0020] 건물 내부를 충전(filling)하는 단계(S41);

[0021] 건물 경계를 스무딩(smoothing)하는 단계(S42);

[0022] 시작점(seed point)를 결정하는 단계(S43);

[0023] 건물 외곽점을 찾는 단계(S44)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하고,

[0024] 상기 (S5)단계는

[0025] 추출된 코너점들 사이에 존재하는 건물 외곽점들을 선형방정식에 피팅하여 단순화하고, 단순화된 건물 외곽점들을 건물의 각 변들에 대하여 수평 및 수직 조건을 부여하여 규격화하는 것을 특징으로 한다.

[0026] 본 발명의 출원 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다.

[0027] 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들의 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

효 과

[0028] 상기와 같은 본 발명 항공라이다 자료를 이용한 건물 외곽선 자동 추출 방법에 의하면, 건물 외곽선을 자동으로 추출할 수 있도록 함으로서 건물의 외곽선을 추출하는 작업공정 등이 단순화와 작업시간의 단축이 가능하다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0029] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다.

[0030] 도 1은 본 발명에 따른 선형스캐닝 영상의 자동 기하 보정을 수행하는 과정을 나타내는 순서도이다. 첨부도면을 참조하여 각 단계에 대하여 보다 상세하게 설명한다.

[0031] 수목점 제거 단계(S1)는, 모든 불규칙한 3차원 라이다자료의 측정점으로부터 평면 피팅 방법을 이용하여 수목에 해당하는 측정점(라이다자료)을 제거하는 단계이다. 여기서 수목에 해당하는 측정점은 좁은 의미의 수목뿐만 아니라 전봇대, 노이즈 등에 해당하는 측정점을 포함하는 개념이다.

[0032] 여기서, 평면 피팅 방법이란 주어진 점 $O(x_0, y_0, z_0)$ 에서 반지름 r 내부의 n 개의 모든 데이터 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ 를 이용하여 최적의 평면의 방정식을 구하는 방법이다. 도 2와 같이 주어진 점 O 에서 반지름 r 내의 구안에 존재하는 $P_i(i=1, \dots, n)$ 점을 생각하고, 이 점들로부터 구할 수 있는 최적의 평면의 방정식이 $z=ax+by+c$ 라고 할 때, 하기와 같은 행렬을 정의할 수 있다.

수학식 1

[0033] $y=B \cdot x$

[0034] 여기서, B는 $3 \times n+1$ 행렬로 다음과 같이 정의되고,

수학식 2

$$B = \begin{bmatrix} X_0 & Y_0 & 1 \\ X_1 & Y_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ X_n & Y_n & 1 \end{bmatrix}$$

[0035]

[0036] 모델 벡터 x 와 y 는 다음과 같이 정의된다.

수학식 3

$$x = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \text{ 와 } y = \begin{bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ \dots \\ Z_n \end{bmatrix}$$

[0037]

[0038] 모델 파라미터 a , b 및 c 는 아래와 같은 정규방정식(normal equation)을 이용하여 구할 수 있다.

수학식 4

$$x = (B^T \cdot B)^{-1} \cdot (B^T \cdot y)$$

[0039]

[0040] 여기서 $[\]^T$ 는 전치행렬을 의미한다.

[0041] 또한, 최적의 평면방정식이 $y=ax+bz+c$ 이거나 $x=ay+bz+c$ 라면, 수학식 1의 행렬 B와 벡터 y는 각각 다음과 같이 정의될 수 있다.

수학식 5

$$B = \begin{bmatrix} X_0 & Z_0 & 1 \\ X_1 & Z_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ X_n & Z_n & 1 \end{bmatrix} \text{와 } y = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \text{거나,}$$

$$B = \begin{bmatrix} y_0 & Z_0 & 1 \\ y_1 & Z_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ y_n & Z_n & 1 \end{bmatrix} \text{와 } y = \begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix}.$$

[0042]

[0043]

위와 같이 세 가지 경우의 평면방정식 중에 하나를 선택하여 피팅해야만 정확한 최적의 평면 방정식을 구할 수 있다. 이와 같은 이유는 $z=ax+by+c$ 로 정의된 평면의 방정식은 $x=c$ 와 $y=c$ 에 가까운 평면의 방정식을 정의할 수 없고, $y=ax+bz+c$ 또는 $x=ay+bz+c$ 로 정의된 평면의 방정식은 $x=c$ 와 $z=c$ 또는 $y=c$ 와 $z=c$ 에 가까운 평면의 방정식을 각각 정의할 수 없기 때문이다.

[0044]

위와 같은 이유로 먼저 위의 세 방정식 중 가장 최적의 평면 방정식을 결정하기 위하여 먼저 세 방정식에 대하여 모델 파라미터(a, b 및 c)를 구한 후, 결정된 각 평면의 방정식에 대한 오차(e_p)를 다음과 같이 계산한다.

수학식 6

$$e_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i)^2}{n}}$$

[0045]

[0046]

여기서, e_i 는 각 점 P_i 에 대하여 결정된 평면의 방정식의 수직거리로 정의되며 아래와 같다.

수학식 7

$$e_i = \frac{|z_i - ax_i - by_i - c|}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}} \text{ for } z = ax + by + c$$

[0047]

$$e_i = \frac{|y_i - ax_i - bz_i - c|}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}} \text{ for } y = ax + bz + c$$

[0048]

$$e_i = \frac{|x_i - ay_i - bz_i - c|}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}} \text{ for } x = ay + bz + c$$

[0049]

[0050]

이렇게 결정된 평면의 방정식으로부터 각 오차 e_i 가 선택된 임계치 T_e 보다 크다면, outlier로 간주하여 제거하고, 다시 수학식4를 이용하여 모델 파라미터를 구한 후, 수학식7로부터 각 P_i 점에 대한 오차 e_i 를 구

하여 임계치 T_e 보다 큰 점을 제거한다. 이런 과정을 어떤 점도 선택되지 않을 때까지 계속한다.

[0051] 총 n 개의 점이 반지름 r 의 구안에 존재하였고, 최적의 평면 방정식을 계산하고 남은 점의 수가 n_p 라면, 보존율(preserving ratio, R_p)은 다음과 같이 정의될 수 있고,

수학식 8

$$R_p(\%) = \frac{n_p}{n} \times 100(\%)$$

[0052]

[0053] 제거율(Removing ratio, R_m)은 다음과 같다.

수학식 9

$$R_m(\%) = \frac{n - n_p}{n} \times 100(\%)$$

[0054]

[0055] 여기서 R_p 가 임계치 T_r 보다 작다면, 주어진 점 O 는 수목 또는 불필요한 데이터로 간주되며, 그렇지 않다면, 지면자료 또는 빌딩으로 간주된다.

수학식 10

$$\begin{cases} O(x_0, y_0, z_0) := \text{지면 또는 빌딩자료} & R_p \geq T_r \\ O(x_0, y_0, z_0) := \text{수목, 전봇대, 노이즈 등} & R_p < T_r \end{cases}$$

[0056]

[0057] 이러한 이유는 수목의 경우, 나무줄기, 잎, 잔가지, 지면 등에 의하여 라이다 불규칙점이 찍히게 되기 때문에 보존율 R_p 의 값이 매우 작게 나타나기 때문이다(도 3). 반면 지상과 빌딩은 일반적으로 스무드한 면으로 이루어져 있기 때문에 R_p 의 값이 높게 나타난다. 이와 같은 특성을 이용하면, 라이다 자료로부터 나무 및 불필요한 자료를 포함하는 점을 제거할 수 있다. 그러나 건물 모서리의 경우, 건물의 벽면과 옥상에서의 라이다 자료를 함께 평면에 피팅할 때 옥상의 평면 또는 벽면의 평면에 대하여 최적의 평면방정식이 결정되는 것이 아니라 도 4와 같이 평면의 방정식이 결정된다. 그러므로 건물의 모서리에 가까운 점들은 모두 수목 또는 불필요한 점으로 간주되어 제거되게 된다.

[0058] 건물의 외곽선을 정확하게 추출하기 위해서는 건물의 모서리에 가까운 점들이 매우 중요하다. 그러나 위의 방법을 통하여 선택된 라이다 자료는 건물 모서리에 가까운 점들을 제거하는 단점을 지닌다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 수학식10에 의하여 제거된 모든 점에 대하여 건물의 모서리점을 복원하는 단계를 한 번 더 거친다. 이러한 과정은 아래와 같다:

[0059] 1) 주어진 점으로부터 가장 가까이 존재하는 지면 또는 빌딩자료로 분리된 점을 찾는다.

[0060] 2) 찾아진 점이 지니는 최적의 평면방정식을 그대로 이용하여 주어진 점의 반지름 r 내에 존재하는 모든 점에 대하여 수학식 7로부터 오차를 계산한다.

[0061] 3) 수학적 식 4와 수학적 식 7을 이용하여 반복적으로 outlier를 제거한다.

[0062] 4) R_p 값을 계산하고, 수학적 식 10을 이용하여 R_p 가 임계치 T_r 이상이라면 점을 복원한다.

[0063] 이와 같은 복원방법은 건물의 벽면과 옥상에서의 라이다 자료에 의하여 초기에 설정되는 평면의 방정식을 옥상의 평면 또는 벽면의 평면을 선택하게 하는데 기초한다. 특히 옥상의 라이다 자료에 비해 벽면의 라이다 자료가 그리 많지 않은 특성 또한 위의 복원방법의 효율성을 높인다.

[0064] 상기 지면/비지면 분리단계(S2)는 상기 수목점 제거 단계(S1)에 의해서 수목과 관련된 불규칙 라이다 측정점이 제거된 데이터로부터 히스토그램분석기법을 이용하여 지면과 비지면 자료를 분리하는 단계이다.

[0065] 여기서 히스토그램 분석기법이란 경사가 가파르지 않고 완만하게 변하는 지역과 좁은 지역에서는 고도에 대한 히스토그램의 첫 번째 피크(가장 낮은 고도에 나타나는 피크)가 지면의 평균고도를 나타낸다는 가정으로부터 지면과 비지면을 분류하는 기법으로 기존의 필터링 과정을 통해 비효율적인 연산시간을 요구하는 방법과는 달리 매우 빠를 뿐만 아니라 경사가 급한 지역을 제외하면 매우 효율적이다.

[0066] 이 과정은 먼저 처리 속도를 향상시키기 위해서 불규칙한 라이다자료를 가상 그리딩 기법에 의해 규칙적으로 격자화하고, 히스토그램을 제작한 후, 각 격자 내의 히스토그램을 작성하여 분석하는 순서로 이루어진다. 히스토그램에서 첫 번째 피크를 찾고, 히스토그램의 첫 번째 피크가 끝나는 위치를 찾는 과정으로 이루어지며 찾아진 위치의 고도로부터 지면(ground)과 비지면(non-ground)을 구분하게 된다.

[0067] 히스토그램 분석에 대한 자세한 과정은 다음과 같이 이루어진다:

[0068] 1) 연구지역을 간격 Δ 를 지닌 좁은 격자로 분할한다;

[0069] 2) 좁은 격자내의 모든 점으로부터 고도에 따른 히스토그램을 작성한다;

[0070] 3) 히스토그램의 첫 번째 피크를 찾고, 그 피크로부터 지면과 비지면 자료를 구분하는 임계고도 h_c 을 결정한다(도 5);

[0071] 4) h_c 보다 높은 고도를 지니는 점으로부터 비지면 자료를 추출한다.

[0072] 비지면 자료는 주로 건물, 수목 및 기타 지물들로 구성된다. 특히 이들 비지면 자료로부터 효과적으로 건물을 추출하기 위해서는 수목에 의하여 발생하는 자료를 제거해야만 한다. 하지만 위의 평면 피팅을 함으로 인해 수목 및 기타 지물들은 제거된 상태이기 때문에 히스토그램 분석 알고리즘을 하게 되면 건물만 추출이 가능하다.

[0073] 상기 건물 그룹화 단계(S3)는 상기 지면/비지면 분리단계(S2)에 의하여 추출된 건물의 라이다 측정점을 분할 및 병합과정을 통하여 단일 건물별로 그룹화하는 단계이다.

[0074] 여기서 분할 및 병합과정은 아래와 같다.

[0075] 건물의 불규칙 라이다 점이 도 6과 같이 주어진다고 가정할 때 선택된 점을 기준으로 기준거리 r_e 내에 인접점이 존재하지 않거나 존재하는 인접점이 그룹 번호를 지니지 않는다면, 그 점에 대해서는 새로운 그룹번호를 부여하고(도 6b), 기준거리 r_e 내에 존재하는 인접점이 이미 그룹 번호를 지니고 있다면, 그 점은 인접점들

의 그룹 번호를 부여한다. 그러나 만약 인접점들이 서로 다른 그룹 번호를 지니고 있다면, 서로 다른 그룹 번호는 병합된다(도 6c). 이와 같은 과정을 통하여 실험지역의 모든 건물 외곽선 자료는 단일 건물별로 동일 그룹 번호를 지니게 된다. 그러나 이 과정은 기준거리 r_e 내에 존재하는 불규칙 라이다 점을 찾아야 하기 때문에 많은 처리 시간을 요구한다.

[0076] 위의 절차를 단순하고 빠른 처리를 위하여 가상의 격자 자료를 이용한다. 이와 같은 가상의 격자자료는 기준거리 r_e 를 격자간격으로 하여 만들어진다. 가상의 격자자료의 라인수(n_l)와 픽셀수(n_p)는 다음과 같이 정의되며, 각 격자내의 모든 라이다점들은 동일 위치로 간주된다.

수학식 11

$$\begin{cases} n_l = \text{ceil}\left(\frac{N_{\max} - N_{\min}}{r_e}\right) \\ n_p = \text{ceil}\left(\frac{E_{\max} - E_{\min}}{r_e}\right) \end{cases}$$

[0077]

[0078] 여기서 $N_{\max}$ 와 $N_{\min}$ 은 각각 라이다자료의 북쪽 방향으로의 최대 및 최소값을 나타내고, $E_{\max}$ 와 $E_{\min}$ 은 각각 라이다자료의 남쪽 방향으로의 최대 및 최소값을 나타내며, $\text{ceil}(\dots)$ 은 올림을 의미한다.

[0079] 이러한 과정은 다음과 같은 단계를 통하여 이루어진다:

[0080]

1) $n_p \times i + j$ 번째 픽셀($0 \leq i < n_l$ 과 $0 \leq j < n_p$)을 중심으로 3×3 윈도우내의 인접픽셀이 존재하는지를 추적(trace)한다.

[0081]

1-1) 인접픽셀이 존재하지 않는다면, 기존에 부여되지 않은 새로운 그룹 아이디를 부여한다.

[0082]

1-2) 인접픽셀이 존재한다면, 인접픽셀이 그룹아이디를 지니고 있는지를 확인한다.

[0083]

1-2-1) 인접픽셀이 그룹아이디를 지니고 있다면, 모두 동일한 그룹아이디를 지니고 있는 지를 확인한다.

[0084]

1-2-1-1) 인접픽셀이 모두 동일한 그룹아이디를 지니고 있다면, 주어진 픽셀은 그 그룹아이디를 따른다.

[0085]

1-2-1-2) 인접픽셀이 서로 다른 그룹아이디를 지니고 있다면, 하나의 그룹아이디로 통합(merge)한다.

그리고 선택된 그룹아이디를 주어진 픽셀에 부여한다. 이때 통합과정은 $n_p \times i + j$ 이전의 픽셀에 대해서도 동시에 통합된다.

[0086]

1-2-2) 인접픽셀이 모두 그룹아이디를 지니고 있지 않다면, 새로운 그룹아이디를 부여한다.

[0087]

2) 다음 픽셀에 대하여 반복하여 계산한다.

[0088]

상기 건물 외곽점 추출 단계(S4)는 상기 과정을 통하여 각 건물별로 그룹화된 점들로부터 건물의 외곽에 존재하는 점을 추출하는 단계이다.

- [0089] 건물의 외곽점 추출 단계(S4)는
- [0090] 건물 내부를 충전(filling)하는 단계(S41);
- [0091] 건물 경계를 스무딩(smoothing)하는 단계(S42);
- [0092] 시작점(seed point)를 결정하는 단계(S43);
- [0093] 건물 외곽점을 찾는 단계(S44)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- [0094] 도 7은 본 발명에 따른 건물 외곽점을 추출하는 과정을 나타내는 순서도이다. 첨부도면을 참조하여 각 단계에 대하여 보다 상세하게 설명한다.
- [0095] 상기 건물 내부 충전(S41)은 건물 객체 내에 빈 공간이 존재할 경우 건물의 외곽에 해당하는 점들을 찾을 때 오류를 발생시킬 수 있기 때문에 적용한다(도 8a). 이 과정은 수학식11과 같이 가상의 격자자료를 제작한 후, 가상의 격자자료로부터 건물의 빈 공간을 찾아내어 점을 추가한다. 주어진 픽셀이 건물이 아니고, 둘러싸는 주변 픽셀들이 건물인 경우 건물내의 빈 공간으로 간주하여 채워준다. 즉, 이 과정을 수행하기 위하여 3차원 불규칙 데이터들을 다루기 쉽도록 가상 격자자료를 이용한다. 그룹화된 데이터에 가상 격자자료를 생성 한 후, 그 리드 내에 라이다 점이 존재할 경우에는 픽셀 값을 1로, 점이 존재하지 않을 경우에는 0을 부여한다. 이 때 만약 0 값을 가지고 있는 픽셀이 1값을 가지고 있는 그리드에 의해 둘러 쌓여있다면, 이는 건물 내부에 빈 공간임을 의미하므로 이 그리드의 0 값을 1로 대체해 줌으로서 빈 공간을 채워주게 된다. 이와 같이 충전 과정을 수행하는 이유는 건물 외곽점 추출시 건물 객체 내부에 빈 공간이 존재하는 경우, 빈공간이 존재하는 내부를 외곽점으로 선택할 가능성이 있기 때문이다. 충전 과정이 끝난 건물데이터는 건물 경계점을 스무딩하게 된다.
- [0096] 상기 건물 경계 스무딩(S42)은 건물의 외곽에 분포하는 오류점을 스무딩하는 단계이다(도 8b). 건물의 외곽에 분포하는 점들 중 오차 또는 수목의 일부가 건물의 경계에 울퉁불퉁하게 존재하는 경우, 이들은 정확한 경계면 상의 점을 추출하는 것을 어렵게 한다. 그렇기 때문에 울퉁불퉁한 건물의 외곽점을 건물의 경계면에 스무딩하게 만들 필요가 있다. 이 과정은 1) 울퉁불퉁한 건물 외곽점의 식별과 2) 식별된 외곽점을 주변 외곽선에 일치시키는 과정을 통하여 이루어진다.
- [0097] 상기 시작점 결정(S43)은 건물에 해당하는 많은 LIDAR 점 가운데 외곽에 존재하는 하나의 점을 찾아 이 점으로부터 시작하여 모든 외곽선상의 점을 추출하기 위해서 수행한다. 시작점은 1) 건물의 외곽에 존재하고, 2) 건물 경계선이 직선에 존재하는 점을 선택한다. (도 8c)와 같이 임의의 구를 사용하여 구 안의 모든 점들에 대한 사잇각을 계산하여 사잇각의 최대값과 최소값의 차이가 180도에 가깝다면, 그 점을 시작점으로 선택한다.
- [0098] 상기 건물 외곽점 검색(S44)은 건물의 외곽에 존재하는 점 모두를 찾는 것이다(도 8d). 이 단계는 아래와 같이 이루어진다.:
- [0099] 1) 선택된 시작점(P_0)을 기준으로 기준거리 r_0 내부의 점 중 선택된 시작점에서 가장 먼 외곽점(P_1)을 선택한다. 이때 P_1 의 선택은 i) 원 내부의 모든 점들에 대해 건물 외부의 점과 P_0 로부터 얻어진 가상의 직선과의 사잇각을 계산한 후, ii) 사잇각 값 중 최대값을 계산하고, iii) 최대값의 사잇각에서 ϵ 에 존재하는 모든 점을 선택하고 난 후, iv) 선택된 점 중 P_0 로부터 가장 멀리 떨어진 점을 P_1 으로 선택하는 것으로 이루어진다(도 9a).
- [0100] 2) 직선 P_0P_1 에서 수직거리 d 이내에 있는 모든 점을 건물의 외곽선으로 선택한다. 이때 d 가 너무 크면, 외곽선은 건물내부의 많은 점들이 건물의 외곽점으로 선택되어 건물 외곽선이 수축될 수 있는 가능성이 높다(도 9b).
- [0101] 3) 다시 P_1 을 기준으로 1)과 2)의 과정을 반복한다 (도 9c).
- [0102] 4) 기준거리 r_0 내부의 점 중 P_0 가 존재하면, 기준점과 P_0 사이의 점을 마지막으로 외곽점으로 선택한 후 외곽점 추출과정을 끝낸다.
- [0103] 도 10은 건물 외곽점 추출의 예를 보인다. 도 10a는 추출된 건물 라이다점을 보이고, 도 10b는 건물 내부를 충전한 것이며, 도 10c는 건물경계점을 스무딩한 후의 자료이다. 도 10d는 선택된 시작점을 보이며, 도

10e는 추출된 건물경계점을 보인다.

[0104] 상기 건물 코너점 추출 단계(S5)는 상기 건물 외곽점 추출 단계(S4)에 의하여 추출된 건물 외곽점으로부터 Douglas-Peucker 알고리즘을 이용하여 건물의 코너점을 추출하는 단계이다.

[0105] 여기서 Douglas-Peucker 알고리즘은 선형에서 급히 방향이 바뀌는 부분의 점을 유지시키며 다른 점들을 제거하는 방식으로 임계치(threshold)를 조절하면서 단순화의 정도를 조절할 수 있는 장점을 지닌다. 이 알고리즘은 매우 잘 알려진 알고리즘으로 코너점을 찾는 데 주로 이용되고 있다. 우선 선형 개체의 두 종단점을 직선으로 잇고, 선형 개체의 모든 절점으로부터 직선까지 수선을 내리고 수선의 길이를 측정한다. 그 후, 수선의 길이가 사용자가 정하여 준 임계치보다 클 경우 그 절점을 새로운 종단점으로 선택하여 개체를 분할하고 임계치보다 큰 수선이 없을 경우 해당 개체 내의 모든 절점을 제거한다. 개체 분할이 발생할지 않을 경우까지 계속 수행하여 건물의 코너점을 추출하게 된다.

[0106] 상기 건물 외곽선의 단순화 및 규격화 단계(S6)는 상기 건물 외곽점 추출단계(S4)에 의하여 결정된 건물 외곽점들은 불규칙하기 때문에 보다 현실적으로 표현하기 위해서 건물의 외곽선을 이루는 모든 점을 이용하여 단순화하고 규격화하는 단계로 상기 건물 코너점 추출 단계(S5)에 의하여 추출된 코너점 사이에 존재하는 모든 건물 외곽점을 선형방정식에 피팅하여 단순화하고, 건물의 각 변들에 대하여 수평 및 수직 조건을 부여하여 규격화하는 단계이다.

[0107] 이를 예를 들어 보다 상세하게 설명하면, 건물 외곽선을 단순화하기 위하여 건물의 코너점 사이에 존재하는 모든 점을 이용하여 아래의 두 선형 방정식을 이용하여 피팅한다.

수학식 12

[0108] $y=ax+b$ 와

수학식 13

[0109] $x=cy+d$ 여기서, a , b , c 및 d 는 피팅에 의하여 결정되는 모델 파라미터이다. 이와 같이 피팅에 의하여 결정된 모델파라미터와 건물 외곽선을 따라 추출된 n 개의 점 자료 (x_i, y_i) 로부터 피팅 오차 e_i 는 아래와 같이 정의된다.

수학식 14

[0110] $e_i = \min(e_{1,i}, e_{2,i})$

[0111] 여기서 $\min(e_{1,i}, e_{2,i})$ 는 $e_{1,i}$ 와 $e_{2,i}$ 값 중 최소값을 의미하며, $e_{1,i}$ 와 $e_{2,i}$ 는 각각 선형방정식 모델인 수학식 12와 수학식 13의 피팅오차를 나타내고, 다음과 같이 정의된다:

수학식 15

[0112] $e_{1,i} = \sum_{k=1}^n \frac{|ax_k + b - y_k|}{\sqrt{a^2 + 1}}$ 와

수학식 16

$$e_{2,i} = \sum_{k=1}^n \frac{|cy_k + d - x_k|}{\sqrt{c^2 + 1}}$$

[0113]

[0114] 수학식 12와 수학식 13과 같이 서로 다른 두 모델을 이용하여 피팅하는 것은 x 에 대하여 상수인 방정식은 수학식12로 표현할 수 없는 반면, y 에 대하여 상수인 함수는 수학식 13으로 표현할 수 없기 때문이다. 이와 같은 이유로 수학식 12와 수학식 13에 의해서 피팅된 모델방정식과 모델에 사용된 점들간의 수직거리를 수학식 14에 의하여 계산하여 적절한 모델함수와 이의 피팅오차를 계산한다. 이와 같은 방법을 통하여 모든 코너점 사이에 존재하는 점들을 이용하여 건물 외곽선을 단순화할 수 있다.

[0115] 이와 같이 위의 과정을 통하여 건물의 외곽선이 다음과 같이 4개의 선형방정식에 의하여 피팅되었다고 하자.

수학식 17

$$\begin{cases} y = a_1 x + b_1 \\ y = a_2 x + b_2 \\ x = c_1 y + d_1 \\ x = c_2 y + d_2 \end{cases}$$

[0116]

[0117] 두 모델 선형방정식의 기울기가 이루는 교각이 임계치 θ_c 보다 작다면, 두 방정식은 평행하다고 할 수 있으며, 이러한 조건은 다음과 같이 결정된다.

수학식 18

$$\begin{cases} a_i = a_j, & \text{if } \left| \frac{a_i a_j + 1}{\sqrt{a_i^2 + 1} \sqrt{a_j^2 + 1}} \right| \geq \cos \theta_c \\ c_i = c_j, & \text{if } \left| \frac{c_i c_j + 1}{\sqrt{c_i^2 + 1} \sqrt{c_j^2 + 1}} \right| \geq \cos \theta_c \end{cases}$$

[0118]

[0119] 또한, 두 모델 선형방정식의 기울기가 이루는 교각이 임계치 $\frac{\pi}{2} \pm \theta_c$ 이내에 있다면, 두 방정식은 수직이라고 볼 수 있으며, 이러한 조건은 다음과 같이 결정된다.

수학식 19

$$\begin{cases} c_j = -a_i, & \text{if } \left| \frac{a_i c_j + 1}{\sqrt{a_i^2 + 1} \sqrt{c_j^2 + 1}} \right| \leq \cos \left(\frac{\pi}{2} + \theta_c \right) \end{cases}$$

[0120]

[0121] 만약 수학식 17에서 a_1 과 a_2 , 그리고 c_1 과 c_2 가 서로 평행이고, a_1 과 c_1 이 서로 수직이라면, 수학식 17은 다음과 같이 다시 표현될 수 있다.

수학식 20

$$\begin{cases} y = a_1 x + b_1 \\ y = a_1 x + b_2 \\ x = -a_1 y + d_1 \\ x = -a_1 y + d_2 \end{cases}$$

[0122]

[0123] 수학식 20의 경우, 단순화된 모델 방정식에 수평과 수직 조건을 적용하여 얻어진 방정식은 a_1 , c_1 , c_2 , d_1 및 d_2 총 5개의 모델파라미터를 지닌다. 건물 외곽선을 따라 재배열된 모든 자료로부터 최적의 모델파라미터를 계산하기 위하여 다음과 같은 행렬을 구성한다.

수학식 21

$$y = B \cdot x$$

[0124]

[0125] 여기서 B 는 [건물 외곽선의 총 개수 × 모델파라미터 수]의 크기를 지니며, 다음과 같이 정의된다.

수학식 22

$$B = \begin{bmatrix} (x_1)_i & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (x_2)_i & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -(y_3)_i & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -(y_4)_i & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

[0126]

[0127] 또한, x 는 모델파라미터에 의하여 결정되고, y 는 [건물 외곽선의 총 개수]의 크기를 지닌다. 이들은 아래와 같이 정의된다

수학식 23

$$x = \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ b_2 \\ d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} (y_1)_i \\ \vdots \\ (y_2)_i \\ \vdots \\ (x_3)_i \\ \vdots \\ (x_4)_i \\ \vdots \end{bmatrix}$$

[0128]

[0129] 여기서 $(x_n)_i$ 과 $(y_n)_i$ 는 각각 n 번째 모델 방정식에 해당하는 건물 외곽선의 i 번째 점의 x 와 y 값을 의미한다.

[0130] 결국 벡터 x 는 최소제곱법에 의하여 아래와 같이 결정되며,

수학식 24

$$x = (B^T B)^{-1} (B^T y)$$

[0131]

[0132] 결정된 모델 파라미터로부터 오차는 수학식 15와 수학식 16의 e^1 , 또는 e^2 로부터 계산된다. 도 11a와 도 11c는 추출한 건물 외곽점으로부터 단순화된 건물 외곽선을 보이며, 도 11b와 도 11d는 단순화된 건물 외곽선과 추출한 건물 외곽점으로부터 규격화된 건물 외곽선을 보인다.

[0133] 이상에서 본 발명을 설명함에 있어 첨부된 도면을 참조하여 특정 단계와 구성요소를 갖는 항공라이다자료를 이용한 건물외곽선 자동 추출 방법에 대해 설명하였으나 본 발명은 당업자에 의하여 다양한 변형 및 변경이 가능하고, 이러한 변형 및 변경은 본 발명의 보호범위에 속하는 것으로 해석되어야 한다.

도면의 간단한 설명

[0134] 도 1 은 본 발명에 따른 라이다 건물외곽선 추출 방법의 절차 흐름도.

[0135] 도 2 는 평면 피팅 방법에서 최적의 평면 방정식을 구한 일례를 나타낸 도면.

[0136] 도 3 은 수목의 라이다자료를 평면에 피팅할 때 결정되는 최적의 평면방정식의 일례를 나타낸 도면

[0137] 도 4 는 건물의 벽면과 옥상의 라이다자료를 평면에 피팅할 때 결정되는 최적의 평면방정식의 일례를 나타낸 도면

[0138] 도 5 는 고도에 대한 히스토그램을 이용하여 지면과 비지면을 분리하는 일례를 나타낸 도면.

[0139] 도 6 은 불규칙 라이다 점으로부터 건물을 그룹핑하는 일례를 나타낸 도면.

[0140] 도 7 은 본 발명에 따른 건물 외곽점 추출 방법의 절차 흐름도.

[0141] 도 8 은 건물 외곽점을 추출하는 일례를 나타낸 도면.

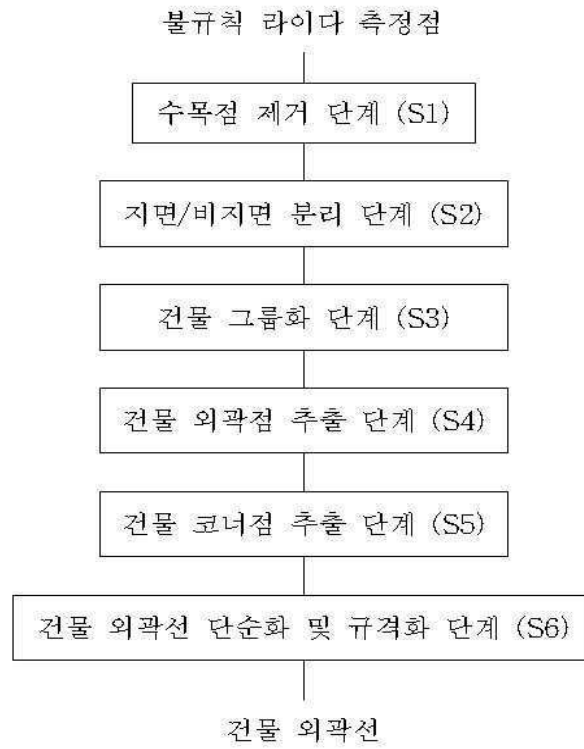
[0142] 도 9 은 건물 외곽점을 검색하는 일례를 나타낸 도면.

[0143] 도 10은 실제 라이다 데이터로부터 건물 외곽점을 추출하는 일례를 나타낸 도면.

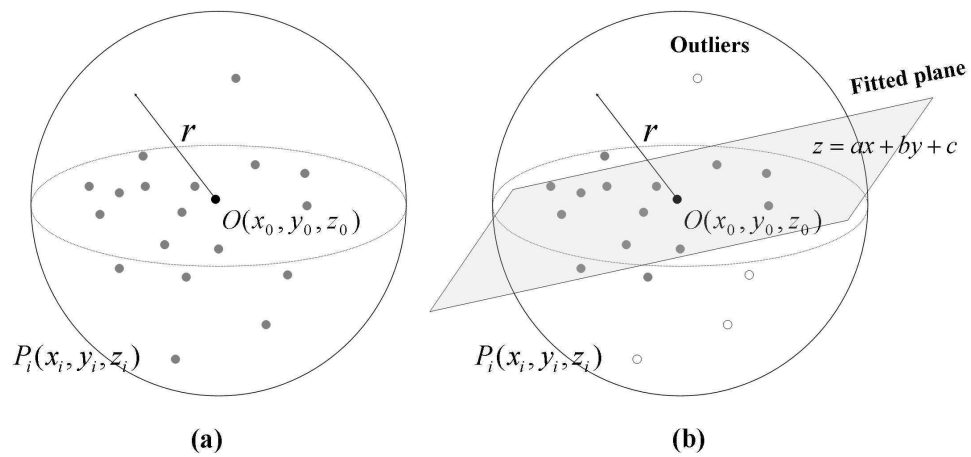
[0144] 도 11은 추출된 건물 외곽점으로부터 단순화된 건물 외곽선과 단순화 및 규격화된 건물 외곽선의 일례를 나타낸 도면.

도면

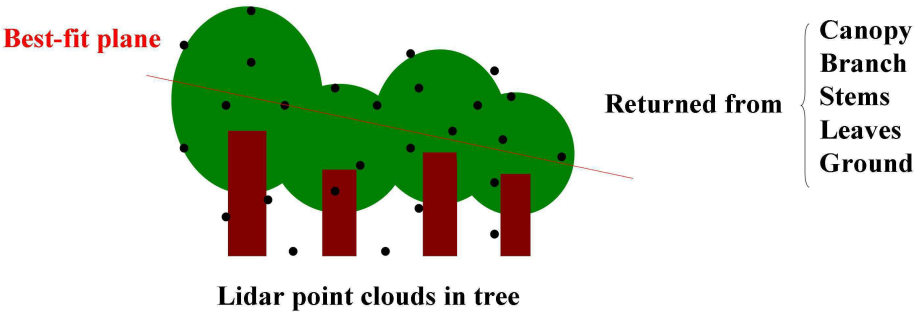
도면1



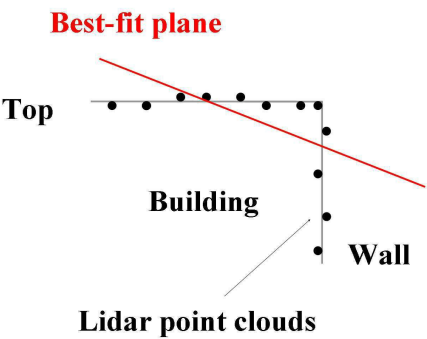
도면2



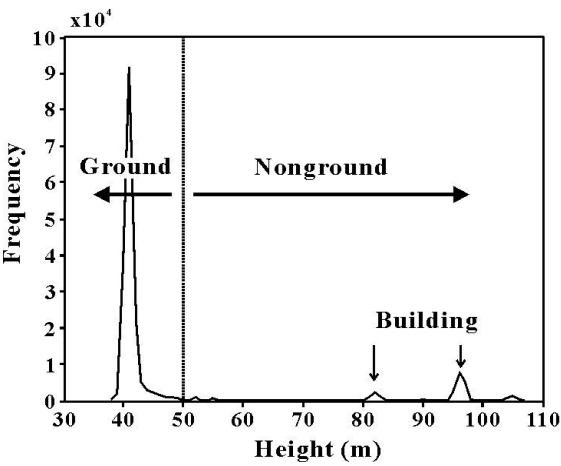
도면3



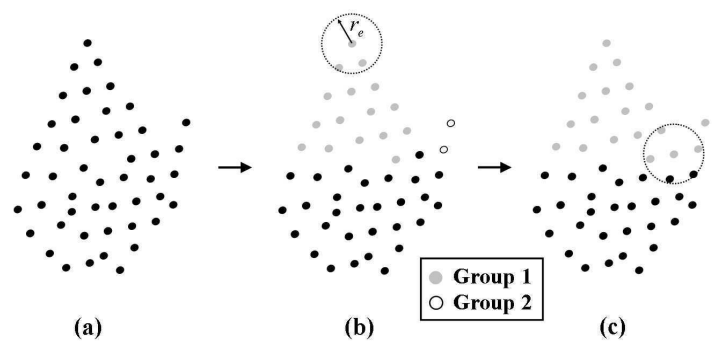
도면4



도면5



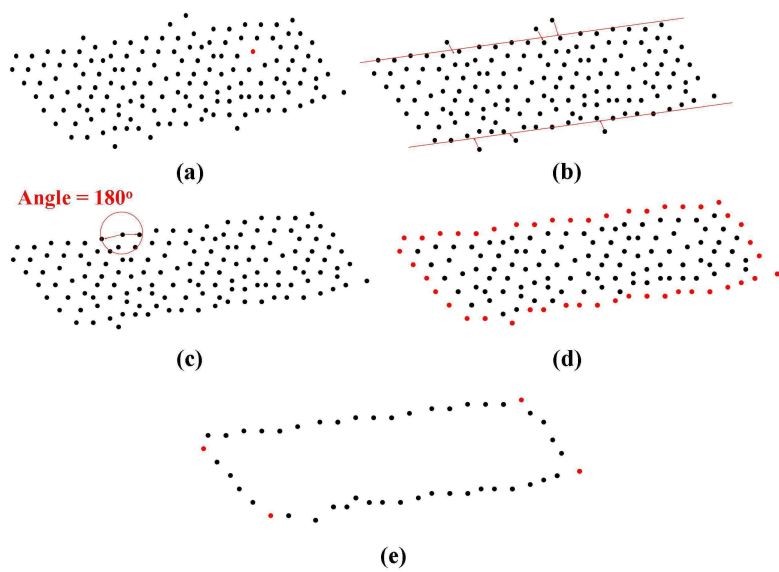
도면6



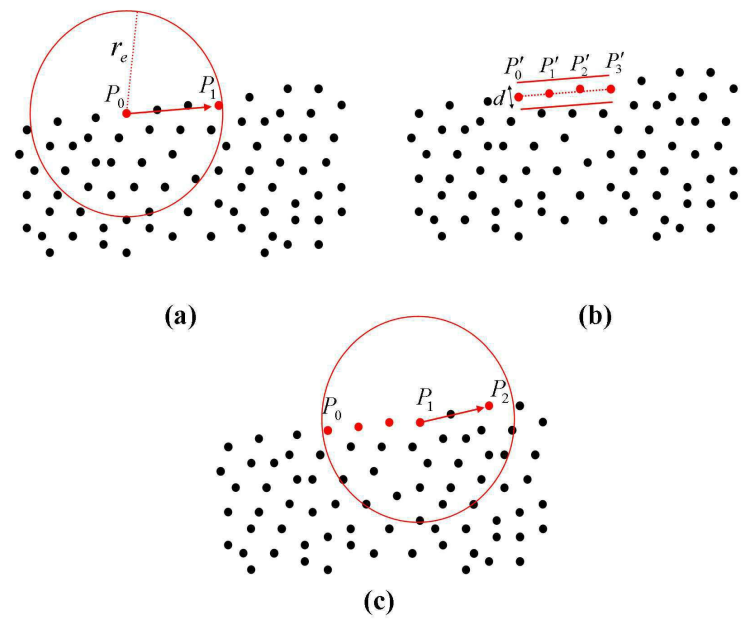
도면7



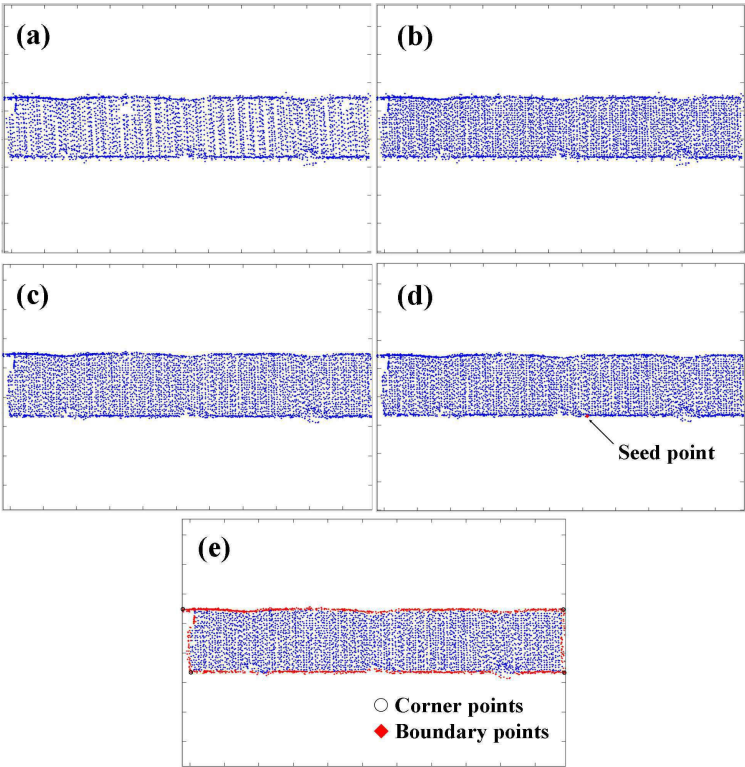
도면8



도면9



도면10



도면11

