

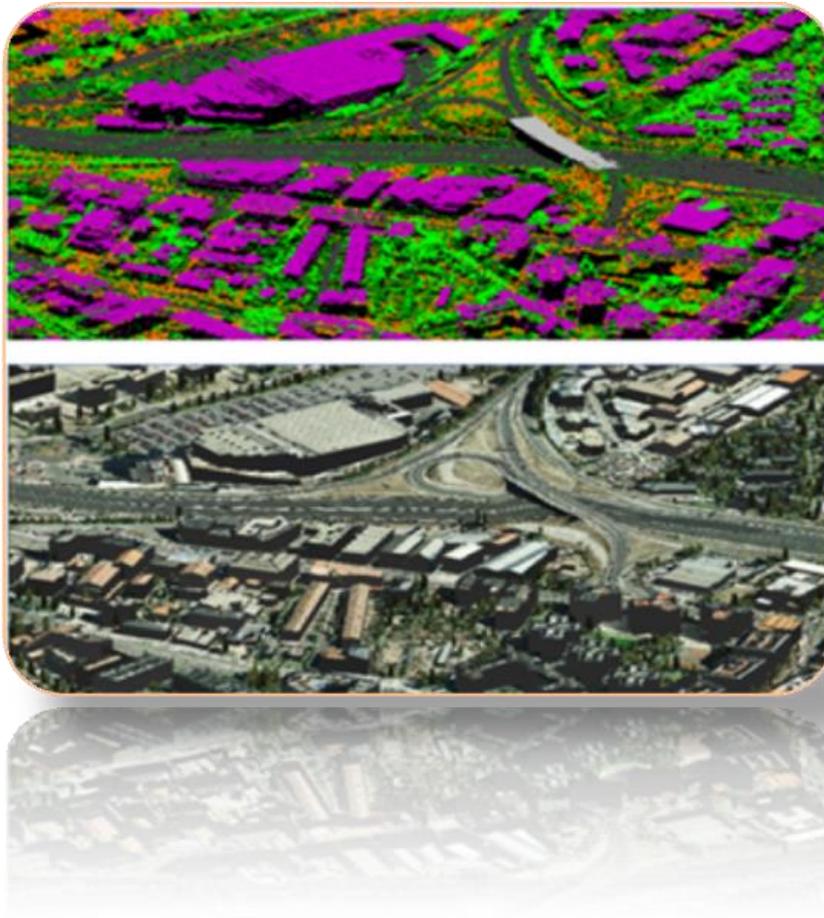


VNIVERSIDAD
D SALAMANCA



Proyecto Fin de Máster

Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura



Título: Ciudad 3D a partir de los datos LiDAR y la Ortofoto

Autora: Songyan Jin

Tutor: Diego González Aguilera, Javier Gómez Lahoz

29 de junio de 2010

Índice

Resumen	1
Palabras clave	1
Capítulo1 Introducción	3
Capítulo2 El sistema LiDAR	6
2.1 Introducción	6
2.2 Componentes de un sistema LiDAR	6
2.3 Las propiedades de los datos LiDAR	8
2.3.1 Información geométrica	8
2.3.2 El eco de un pulso láser	10
2.3.3 La intensidad de un pulso láser	11
2.4 Presentación del programa TerraSolid	13
2.5 Zona del estudio y datos empleados	14
2.6 Calibración de los datos LiDAR	16
2.6.1 Los datos requeridos en el proceso de calibración	16
2.6.2 Práctica en TerraSolid	17
Capítulo3 Clasificación de los datos LiDAR	25
3.1 Introducción	25
3.2 Relativo al trabajo	26
3.3 Los métodos de clasificación de los datos LiDAR	27
3.3.1 Clasificación de los datos LiDAR a partir del modelo TIN	27
3.3.2 El algoritmo basado en la pendiente de los puntos	30
3.3.3 El algoritmo basado en linear predicción	32
3.4 Las características de los datos LiDAR a la clasificación	33
3.5 Práctica en TerraSolid	35
3.5.1 Clasificación automática	35
3.5.2 Clasificación manual	44
3.6 Conclusión de este capítulo	46

Capítulo4 Reconstrucción de edificios y la ciudad en 3D	47
4.1 Introducción	47
4.2 Relativo al trabajo	47
4.3 Método de reconstrucción automática de edificios	48
4.3.1 Extracción de los planos	48
4.3.2 Ajustar los planos	50
4.3.3 Detección de la línea intersección	50
4.3.4 Creación del modelo	51
4.4 Práctica en TerraSolid	51
4.4.1 Modelización del edificio	51
4.4.2 Detectan los árboles	55
4.4.3 Triangulación de la ortofoto	57
4.4.4 Crean un video de la ciudad 3D	59
4.5 Conclusión de este capítulo	62
Capítulo5 Conclusiones	63
Bibliografía	65
Índice de imágenes	68
Agradecimientos	70

Resumen

LiDAR (Light Detection and Ranking) es una técnica nueva para obtener información espacial rápida y con alta resolución de la superficie del terreno y los objetos. Es un equipo combinado de un sistema de láser, un sistema de GPS diferencial (DGPS) y un sistema inercial de navegación (INS). El LiDAR captura la información del terreno y de la superficie del terreno más rápido y con mayor resolución que la técnica de la fotogrametría. El LiDAR es una herramienta poderosa para generar DEM (modelo digital de la elevación), DTM (modelo digital del terreno) y DSM (modelo digital de la superficie).

La ciudad 3D es cada día más popular y general. En la generación de este tipo de productos, comparado con las técnicas convencionales, los datos LiDAR tienen la ventaja de reconstruir el edificio de forma automática.

En este proyecto se va a estudiar en 2 partes; uno consiste en la clasificación de las nubes de puntos, y otro en la reconstrucción del edificio y generación de una ciudad 3D. En la primera parte se van a analizar las características de las nubes de puntos y estudiar sus principales propiedades, como por ejemplo la intensidad, el eco o la altura de un punto. Basándose en estas propiedades, se desarrollará un método de clasificación utilizando el programa TerraSolid. En la segunda parte se va a presentar el método de reconstrucción y generación de una ciudad 3D utilizando el programa TerraSolid.

Palabras clave: LiDAR, Clasificación, Reconstrucción, ciudad 3D, TerraSolid

Abstract

The airborne LiDAR (Light Detection and ranging) is a kind of new promising technique in obtaining instantly 3D accurate information of the earth surface and objects. Is a group combine with a system of laser, a system of difference GPS (DGPS) y a system of the navigation initial (INS). The system LiDAR capture information more quickly and accurately than the system photogrammetry, LiDAR Is a technique powerful to generate DEM (Digital elevation model) DTM (Digital Terrain model) and DSM (Digital surface model)

3D city models become increasingly popular and general, in the generation of the 3D city, compared with the technique conventional in the generation of the 3D city, the high point densities of airborne laser scanners have advantage into the automated reconstruction of 3D building models.

In this project will be study two parts; one is classification of the cloud point, the other is reconstruction of the building and produce a 3D city. In the first part will be analysis the characteristic of the cloud points, study the principal property of the cloud point, for example, the intensity, the echo and the height of the cloud point, based on these information of the cloud points, develop one method to classify in the program TerraSolid. The second parts will be present one method of reconstruction y generate 3D city in the program TerraSolid.

Key words: LiDAR, Classification, Reconstruction, 3D City, TerraSolid

Capítulo 1 Introducción

Con el desarrollo de la informática y la gestión de la ciudad, la ciudad 3D es cada día más importante. El edificio, la carretera, la vegetación, el transporte, la población son los elementos que forman una ciudad 3D. Si hay bases datos de una ciudad digital es más fácil plantear y gestionar la ciudad, por ejemplo detectar los cambios de la ciudad, sobre todo cambios en los edificios. Tradicionalmente la ciudad digital se generaba con el sistema la fotogrametría, pero este sistema requiere mucho tiempo y trabajo manual (manpower). En este punto de vista, es necesario emplear una metodología rápida, eficiente y sistemática para generar la ciudad digital, y el sistema LiDAR presenta ventajas para generar los productos rápido, con alta resolución y de forma automática.

El sistema escáner láser aéreo es una técnica más eficaz para capturar los datos, y generar los productos DEM, DTM, DSM y la ciudad digital. La diferencia entre el sistema de la fotogrametría y el sistema LiDAR consiste en que el sistema LIDAR trabaja en combinación con un sistema de GPS diferencial (DGPS) y un sistema inercial de navegación (INS). El sistema de escáner láser calcula la distancia entre el sensor y el objeto del terreno, el sistema GPS calcula la posición del sensor que emitir el láser al objeto del terreno, y el sistema INS calcula los giros del sensor que escanea los objetos del terreno. El sistema escáner láser mide la distancia desde el sensor hasta el terreno a partir del tiempo que tarda el rayo de luz en alcanzar el suelo y regresar al sensor. Si se conocen las coordenadas y ángulos de la actitud del avión y el ángulo del espejo, se pueden calcular a

partir de estos datos y de las distancias medidas las coordenadas de los puntos escaneados en el terreno.

Las nubes de puntos capturados con el sistema LiDAR contienen la información espacial del terreno y de los objetos del terreno. El sistema puede tomar la intensidad del objeto, contar los ecos de un pulso de láser y medir las alturas de las nubes de puntos. Según éstas características, es posible clasificar las nubes de puntos automáticamente y extraer los edificios. Al generar un DEM, DTM o una ciudad digital se necesita clasificar los datos, por eso la clasificación de los datos LiDAR es el trabajo más importante del procesado de los datos LiDAR.

Las nubes de puntos contienen muchos elementos, incluido la forma del terreno, los edificios, la vegetación, las carreteras, las montañas, los ríos, los cables eléctricos etc. Para generar DEM o DSM o ciudad digital, el primer proceso del trabajo es clasificar las nubes de puntos. Hay dos tipos de métodos para clasificar las nubes de puntos: uno es utilizando únicamente los datos de LiDAR y el otro es combinando los datos LiDAR con las imágenes de satélite o imágenes aéreas de alta resolución.

El principal objetivo de este proyecto es estudiar como procesar los datos de LiDAR en el programa Terrasolid, clasificar las nubes de puntos, reconstruir los edificios y generar una ciudad digital.

Esta memoria está estructurada en los apartados:

- Capítulo uno: se presenta la motivación del proyecto.
- Capítulo dos: en primer lugar se describe el sistema de LiDAR y las principales características de las nubes de puntos, y en segundo lugar se presenta el programa con el que se va a trabajar en este proyecto (TerraSolid). Al final se presenta la zona del estudio, los datos empleados y la calibración de los datos LiDAR con el programa TerraSolid.
- Capítulo tres: se explican varios métodos de clasificación de las nubes de puntos utilizados y se hace una práctica en el programa TerraSolid.
- Capítulo cuatro: se explica el método de reconstruir los edificios y se realiza una práctica con el programa TerraSolid creando una ciudad digital.
- Capítulo cinco: se presentan las conclusiones del proyecto

Capítulo 2 El Sistema LiDAR y calibración de los datos LiDAR

2.1 Introducción

El sistema LiDAR aéreo captura la información espacial de la superficie, es un equipo combinado de un sistema de láser, un sistema de GPS diferencial (DGPS) y un sistema inercial de navegación (INS). Con la información del GPS del avión combinado con el apoyo terrestre de las estaciones base se obtiene, posteriormente, la posición espacial del sensor, y con la información de INS se obtienen las orientaciones del sensor. Los datos capturados desde el sistema Láser son unos puntos muy irregulares que forman nubes de puntos representando la topografía y los elementos del terreno.

Cada día el sistema LiDAR es más poderoso para generar DEM (modelo digital de elevación), DTM (modelo digital de terreno) y DSM (modelo digital de superficie).

En este capítulo se va a presentar el sistema LiDAR y las principales propiedades de las nubes de puntos.

2.2 Componentes de un Sistema LIDAR

El sistema LiDAR es un sensor activo que consta de un dispositivo emisor de luz láser y de un espejo que desvía el haz perpendicularmente a la trayectoria del avión. El movimiento que realiza el láser, combinado con la trayectoria del avión permite realizar un barrido del terreno, donde el sensor genera y emite una serie de pulsos, los cuales al incidir sobre los objetos o el terreno reflejan o devuelven parte de la energía del pulso

emitido al sensor. Así se obtiene la medida de la distancia entre el sensor y el objeto iluminado por el láser a través del intervalo del tiempo entre la emisión y la reflexión o retorno del pulso. En el sistema LiDAR integrado encontramos tres componentes, el sistema escáner láser, el sistema INS y el sistema DGPS. En la imagen 1 se representa el equipo de un sistema de LiDAR.

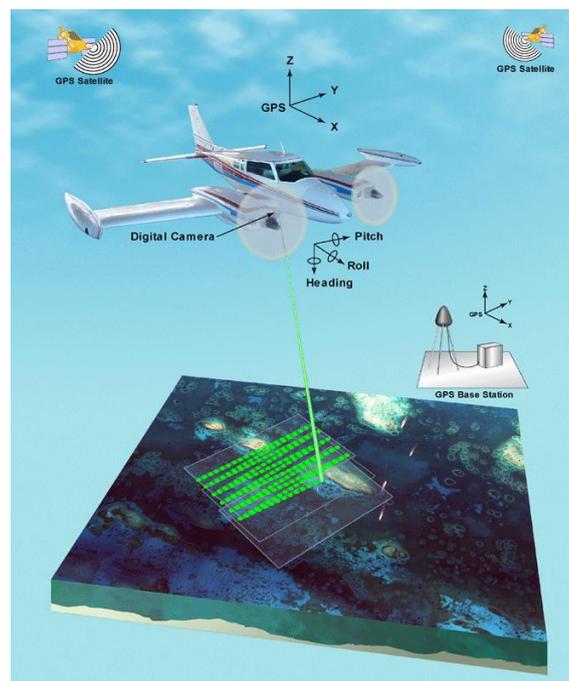


Imagen 1: El sistema LiDAR

El sistema escáner láser escanea al terreno, emite los pulsos de luz ininterrumpidamente y capta sus retornos, el tiempo que tarda en regresar la luz permite calcular la distancia y, de esa forma, la altimetría del terreno. Los puntos más próximos (altos) dan una respuesta más rápida.

El sistema INS calcula la orientación de avión, permite registrar los valores del ángulo de las inclinaciones que la aeronave experimentó durante el

vuelo (hacia delante, atrás o los lados) y, con ello, corregir los datos, refiriéndolos siempre a un plano horizontal controlado.

El sistema GPS calcula la posición del avión, permite ubicar con exactitud (en coordenadas geográficas) un punto en el marco de un sistema de referencia geodésico. Con la información del GPS del avión combinando con el apoyo terrestre de las estaciones base se obtiene posteriormente la posición espacial del sensor. ([1], [2])

2.3 Las propiedades de las nubes de puntos

Los datos capturados desde el sistema LiDAR se suelen llamar nubes de puntos, y representan los estados de las características del objeto (altura y material de objeto), y contienen la información de coordenadas espaciales, intensidad, eco etc.

2.3.1 Información geométrica

Las coordenadas espaciales de las nubes de puntos se calculan con el sistema escáner láser, el sistema GPS y el sistema INS. La imagen 2 representa el sistema LiDAR. ([3], [21])

Si el intervalo de tiempo Δt entre el sistema escáner láser emitir un pulso y recibir este pulso, la velocidad de luz es $C=3*10^8$ m/s, el rango entre el terreno y el sistema LiDAR es

$$\rho = \frac{1}{2} * C_o * \Delta T$$

Combinan el rango de láser con los parámetros del sistema INS y GPS matemáticamente puede calcular las coordenadas de las nubes de puntos con siguiente ecuaciones:

$$\vec{X}_G = \vec{X}_0 + R_{INS} * \vec{P}_G + R_{INS} * R\Delta * R\alpha * \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho \end{pmatrix}$$

X_0 =posición del centro INS con coordenadas e el sistema local, dada por el sistema GPS/INS en cada instante tiempo.

R_{INS} = matriz de orientación (coseno directores) o paso del sistema INS (“INS body frame”) al sistema local (“mapping frame”), dada por el sistema GPS/INS en cada instante tiempo.

P_G =offset de traslación entre los centros del sistema GPS/INS y de láser en coordenadas de sistema INS.

$R\Delta$ =matriz de rotación (offset de orientación) entre el sistema láser y el sistema GPS/INS

$R\alpha$ = matriz de rotación entre el sistema láser y opto mechanical scanner

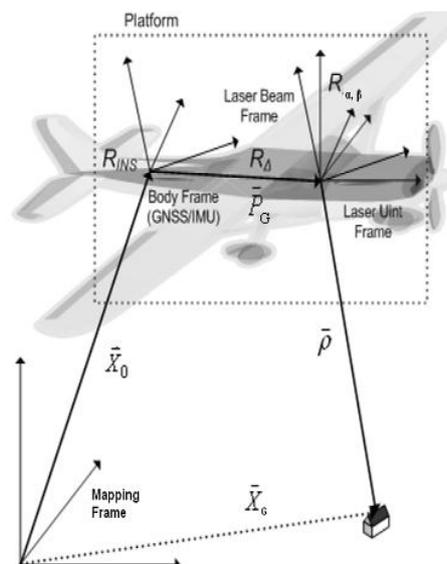


Imagen 2 LiDAR Geo-Referencia

2.3.2 El eco de un pulso láser

Cuando el rayo láser llega al terreno se comportará de diferente forma dependiendo de las características de los objetos que encuentre:

El registro del primer pulso permite describir la superficie (parte más alta) de los objetos, mientras que el registro del último eco se usa para conocer la superficie del suelo ([20]), la imagen 3 muestra el eco de un pulso de láser.

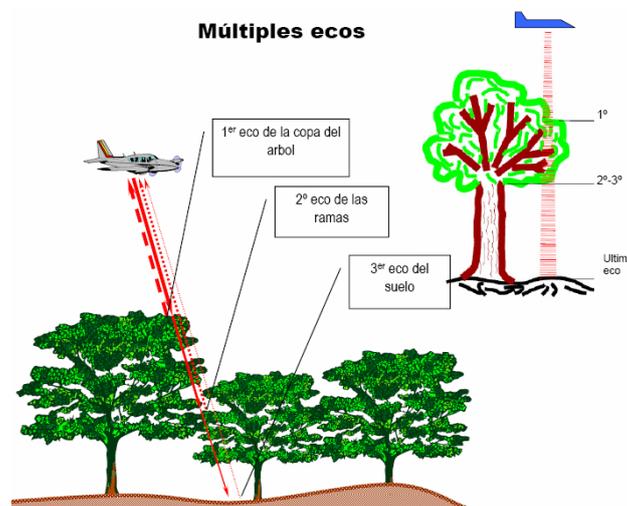


Imagen 3: Un pulso de láser genera múltiples ecos

- 1) En una superficie sólida (edificios, suelo, etc.), el rayo se refleja sin ningún problema y vuelve al avión.
- 2) En el agua, el rayo láser infrarrojo es reflejado en su superficie, pero posteriormente es absorbido rápidamente y no vuelve al avión señal reflejada del fondo, por lo que no se obtiene ninguna información.
- 3) Algunos de los tipos de luz del infrarrojo cercano emitido por el sensor son absorbidos fácilmente por el agua, la lluvia, las nubes, la capa superficial del alquitrán, y algunos materiales empleados en los tejados. Si

la radiación es absorbida no regresará de nuevo al sensor, generando vacíos de información en la serie de datos.

4) En la vegetación, el rayo choca en primer lugar con la copa del árbol. En este momento parte del rayo se refleja y vuelve al avión, pero al tratarse de una superficie no sólida, hay otra parte del rayo que atraviesa la vegetación hasta llegar al suelo y vuelve al avión.

Asimismo, cuanto más inclinado sea el haz láser peor penetrará en la vegetación. En la imagen 4 se muestran en color rojo las zonas donde solo hay un eco, el color azul representa el primer eco recibido de vuelta, el verde el eco intermedio y el amarillo el último eco.

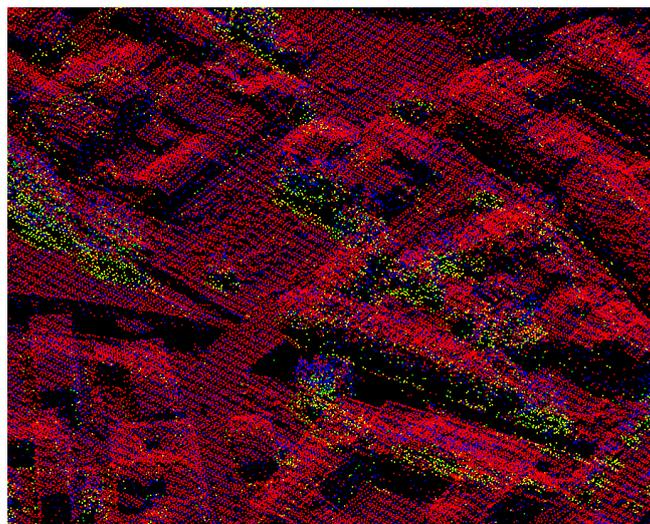


Imagen 4: Una zona urbana

2.3.3 La intensidad de un pulso láser

La reflexión de la luz al objeto afecta a la intensidad, es decir, diferentes materiales reflejan diferentes valores. El sistema LiDAR puede proporcionar la información de intensidad de la superficie, que se

corresponde con longitud de onda espectral que el láser ha emitido. Especialmente, la intensidad se define como el radio de la potencia de la reflexión que la luz ha emitido. La reflectancia varía con los materiales, así como el tipo de la luz, y diferentes materiales hay diferentes reflectancias. Por consiguiente, la reflexión se usa a clasificar las nubes de puntos. Las imágenes de la intensidad siempre aparece el heterogéneo y moteado, debido a excesivo ruido, es por el ángulo de la reflexión. La imagen 5 muestra los parámetros de proporción de la luz.

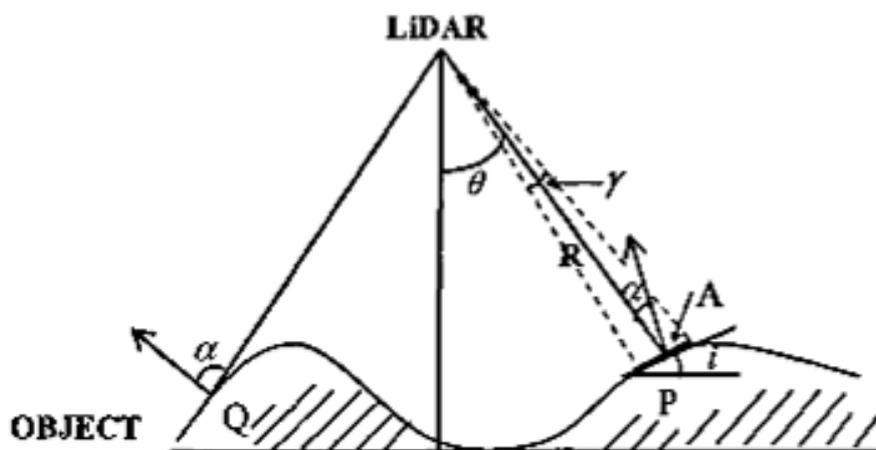


Imagen 5: Proporción de la luz

La ecuación para calcular la intensidad es la siguiente:

$$P_r = k \frac{A \cos \alpha}{R^4} \rho \exp(-2\mu R)$$

K = el constante

A = el área de la luz interfecta al objeto

R = el rango de la luz

α = el ángulo agudo de la luz y objeto

ρ = la reflexión del objeto

μ = la extinción de la luz

En la ecuación anterior el rango de la luz y la reflexión son elementos importantes, el valor de la intensidad es directamente proporcional a la reflexión del objeto, si el valor de la reflexión es más grande, la intensidad también es más grande, por este motivo el material del objeto afecta a la intensidad.

2.4 Presentación del programa TerraSolid

Terrasolid es un programa para procesar datos LiDAR que desarrolló una empresa de Finlandia. Este programa procesa la calibración de los datos LiDAR, la clasificación de las nubes de puntos, generación de ortofoto, generación de DEM, DTM, DSM y ciudad 3D.

Los principales paquetes de Terrasolid son TerraScan, TerraMatch, TerraModeler y TerraPhoto. Todos estos paquetes se cargan en MicroStation y pueden utilizar las herramientas que éste dispone.

En **TerraScan** se procesan las nubes de puntos. Para cargar las nubes de puntos en TerraScan se afectan de la operación del sistema WINDOWS, si la RAM del ordenador es 2GB, TerraScan puede leer 5 millones de puntos, y si la RAM del ordenador es 4GB, puede leer aproximada entre 10 y 15 millones de puntos, en caso de tener más de 15 millones de puntos, se crean bloques de las nubes de puntos que deseemos leer. En TerraScan leen las nubes de puntos al proyecto, clasifican las nubes de puntos automáticamente y manualmente, vectorizan los edificios automáticamente y chequean las vectorizaciones de los edificios manualmente, también en este paquete visualizan las nubes de puntos en

diferentes modos, por ejemplo, en el modo de la clase, la intensidad, el eco, el color, etc.

En **TerraMatch** se corrigen los errores sistemáticos en los datos LiDAR. Se mide las diferencias entre las superficies a partir de diferentes vuelos o las diferencias entre las superficies de láser y los puntos conocidos. TerraMatch se usa como una herramienta de calibración de los datos LiDAR. En terraMatch se calcula la diferencia de cota media de la superficie desde diferentes vuelos en heading, roll, pitch y Z, al final aplicar los resultados a las nubes de puntos.

En **TerraModeler** se pueden crear modelos del terreno de diferentes tipos, por ejemplo se muestra en modo de contorno, en TIN, en textos de elevación, en zopetero, y triangulan el ortofoto. En TerraModeler se puede manejar un número ilimitado de diferentes superficies en el mismo archivo. Puede editar cualquier de estos modelos de las superficies de forma interactiva. También pueden añadirse, mover o eliminar puntos individuales.

En **TerraPhoto** se producen las ortofotos a partir de imágenes aéreas. El proceso de generar la ortofoto se realiza sin tener puntos conocidos en el terreno. Este paquete se usa cuando se clasifican las nubes de puntos en forma manual, visualizar en modo de render y generar un video de ciudad digital.

2.5 Zona del estudio y datos empleados

El estudio ha sido llevado a cabo en el término de Callado Villalba, en la provincia de Madrid (ESPAÑA,). El centro de Callado Villalba (Imagen 6),

contiene un área densa consolidada, con grandes extensiones de viviendas unifamiliares y con mucha vegetación.



Imagen 6: Zona del estudio

Los datos LiDAR que se emplean provienen del sensor ALS 50_II SN048, y fueron tomados en septiembre del año 2007. El sistema ALS50 dispone de un escáner láser en una frecuencia 95800.00Hz, con un ángulo de apertura 45 grados, y captura en un altura aproximada de 1000m sobre el terreno. Los datos están generados en formato LAS1.0, con una densidad media 1.9 puntos cada metro cuadrado, con una precisión de error esperada en altura de 12cm, y el solape de escaneo ocupa 32.33% de la zona estudio.

La ortofoto proviene del sensor ADS40_SH52 SN3115 integrada con un sistema INS/GPS en un resolución 0.1m en el término municipal de Callado Villalba realizado el junio de 2008. El sistema ADS40 tiene una focal de

62.7mm, el tamaño del píxel es de 6.5micras, el tamaño del array es 12.000 píxeles. Las imágenes capturadas en la cota media de terreno 900m, altura de vuelo media AGL es 964m y en GSD medio 10cm.

2.6 Calibración de los datos Lidar

Si existen más de una pasada en las nubes de puntos, se tienen que calibrar las nubes de puntos y eliminando los puntos duplicados. Para calibrar los datos en el programa Terrasolid se usa el módulo TerraMatch.

2.6.1 Los datos requeridos en el proceso de la calibración

- 1) El conjunto de datos debe contener múltiples pasadas que se solapan con otras pasadas. Alternativamente, se podría tener apenas una línea del vuelo sólo y comparar con un conjunto de puntos conocidos.
- 2) La trayectoria contenido las informaciones del vuelo en cada tiempo escaneando al terreno, una trayectoria no debe superponerse. Cualquier trayectoria que hace un giro de 180 grados y volver sobre la misma.
- 3) Las nubes de puntos están enlazados con las posiciones y las orientaciones del sensor escáner láser. Esto requiere las nubes de puntos tienen números de pasada y la información trayectoria.
- 4) Las nubes de puntos clasificadas en pasadas separadas, aquí no es necesario clasificar muy claramente, sólo clasifican al suelo, los puntos errores, y los puntos bajo de superficie

2.6.2 Práctica en terrasolid

En TerraSolid, el módulo TerraMatch y el módulo TerraScan se utilizan para calibrar las nubes de puntos y eliminar la zona de solape, el anterior se ha presentado qué datos se usan para calibrar, preparan los datos y empiezan a trabajar en Terrasolid.

1) Importar las trayectorias en TerraScan, pulsando el botón manage trayectorias () y se sale una ventana a gestionar la trayectoria, con esta herramienta se puede dibujar la trayectoria a la zona del estudio y transformar el sistema de coordenada, en este proyecto se va a trabajar en el sistema de coordenada WGS84 NORTE 30. La imagen 7 muestra la trayectoria del proyecto, hay 4 pasadas y el cuadro azul es la zona del estudio.

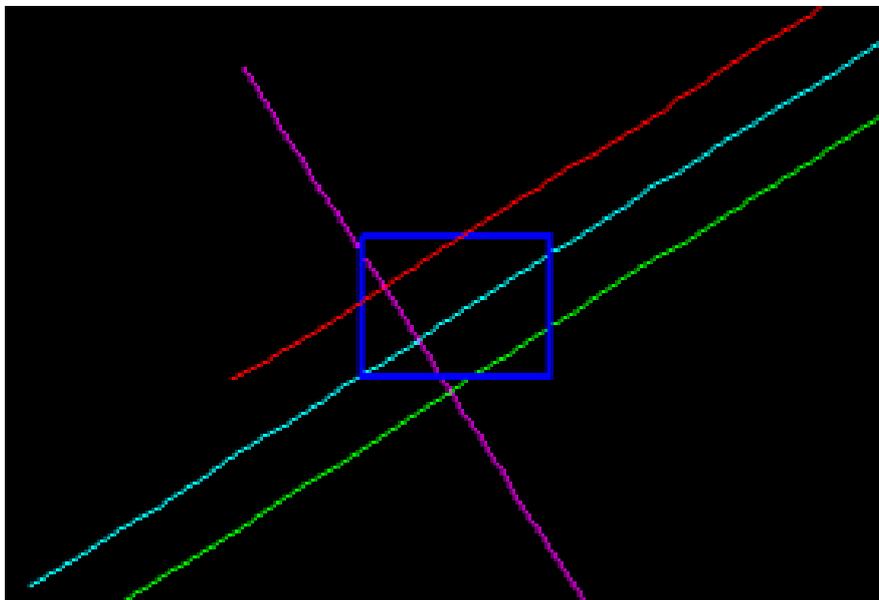


Imagen 7: La trayectoria del proyecto

2) Importar las nubes de puntos desde TerraScan y ejecutar el macro deduce line number a corresponder la trayectoria con las nubes de puntos para aumentar la precisión de las nubes de puntos. Para importar las nubes de puntos hay dos métodos, uno es importar desde main window, otro es desde main tool box pulsar el botón () load airborn points. Hay varias opciones de importar las nubes de puntos, si las nubes de puntos son muy densos puede filtrar las nubes de puntos y también puede transformar el coordenada de sistema. Imagen 8 muestra el resultado de importar los puntos al proyecto, en total ha importado 2023669 puntos.

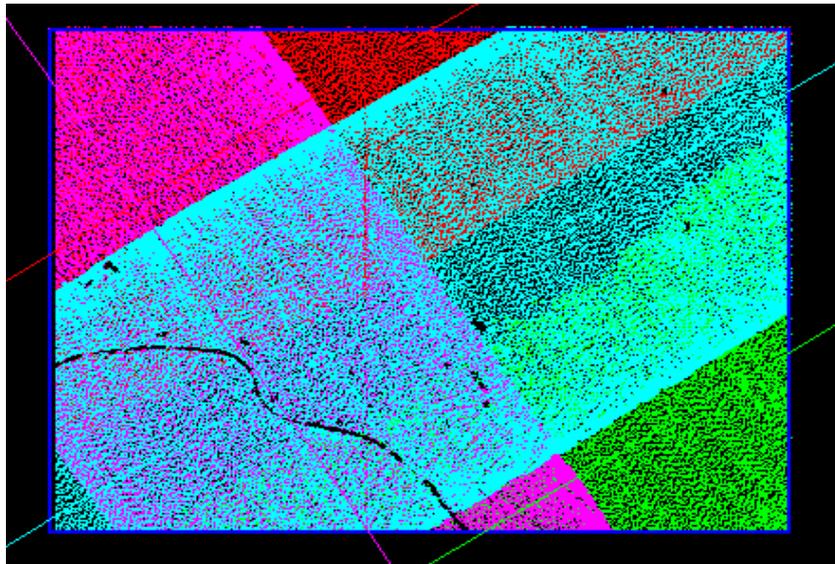


Imagen 8: Importar las nubes de puntos al proyecto

3) Clasifican las nubes de puntos al terreno, las nubes de puntos bajos y las nubes de puntos bajos de superficie, procesa en el módulo TerraScan. Como todavía no ha cortado la zona solape, tiene que ejecutar los macros en modo de separar las pasadas.

① Clasificar los puntos bajos

Clasificar los puntos bajos para buscar los puntos que se encuentran por debajo de los puntos vecinos, normalmente se utiliza para buscar los puntos erróneos que están debajo del suelo. En TerraScan hay dos maneras de clasificar las nubes bajas, en modo de single points y el modo de group of points, en este proyecto se usa los dos maneras a clasificar las nubes de puntos bajos. En el modo de group of points, si la distancia entre dos puntos mayor que 1m y menor que 15m, se va a clasificar a las nubes de puntos bajos. En el modo de single of points si la distancia entre dos nubes de puntos mayor que 0.5m y menor que 10m, se va a clasificar a nubes de puntos bajos.

② Clasificar los puntos del terreno

Se clasifican los puntos del suelo para triangular la superficie. La rutina se basa un modelo inicial de las nubes de puntos bajos seleccionado. Los triángulos en este modelo inicial son en su mayoría por debajo de la tierra con sólo los vértices de tocar la tierra. La rutina se inicia a continuación, moldeando el modelo iterativamente hacia arriba agregando las nuevas nubes de puntos. Cada punto añadido hace que el siguiente modelo de la superficie del suelo más de cerca.

Los parámetros de la iteración determinan un punto a un plano triángulo para ser aceptado como punto de masa y se agrega al modelo. El parámetro, el ángulo de la iteración es el ángulo máximo entre un punto, su proyección en el plano del triángulo y el triángulo de vértices más cercanos. El parámetro la distancia de iteración se asegura de que la

iteración no hace grandes saltos hacia arriba cuando son grandes triángulos. La imagen 9 muestra los umbrales de clasificar al terreno

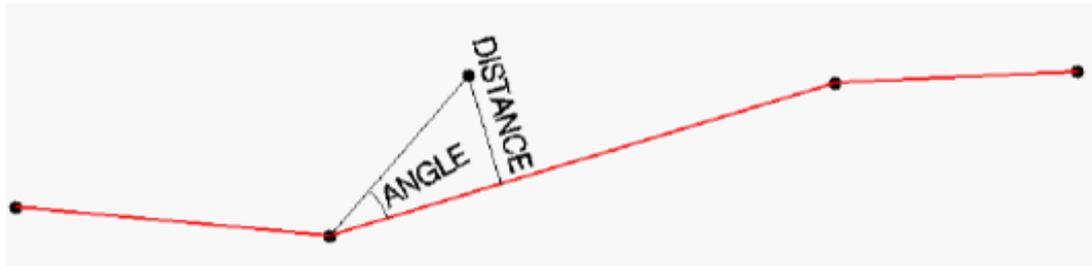


Imagen 9: Los umbrales de clasificación al terreno en TerraSolid

En este proyecto seleccionan max building size en 250 m, el terrain angle 88 grados, el interation angle 6 degree to plane y el interaation distance en 1.4 m to plane.

③ Clasificar los puntos bajo la superficie

Las nubes de puntos bajos de la superficie se clasifican puntos que son inferiores a los puntos vecinos en la clase de recursos. Esta rutina se puede ejecutar después de la clasificación de suelo para localizar los puntos que están por debajo de la superficie del suelo real.

Si el punto central es por encima del plano o menor que la Z-tolerancia, no se clasificarán. Si el punto central es más de los tiempos límite de desviación estándar por debajo del plano, los clasificará. En este proyecto la Z-tolerancia establece a 0.1m y la limitación de la desviación estándar a 8.

④ Medición de la diferencia entre las múltiples pasadas

Se calcula la diferencia de cota media entre las superficies diferenciales desde las múltiples líneas del vuelo. Pulsan el botón measure match , y en la ventana de measure match, importan la ruta del proyecto que se va a calcular, seleccionan la clase terreno, al final dan OK el programa se calcula automáticamente la diferencia entre las pasadas.

5) Calculo de los valores de heading, roll, pitch

Pulsa el icón find match (), aparece la ventana (imagen 10) de calcular los valores, tiene que importar la ruta del proyecto, las trayectorias del proyecto, la clase del terreno que se usa a calcular los valores, en opción de calcular valores, seleccionar heading shift, roll shift y pitch shift, al final dar OK a calcular los valores de la diferencia.

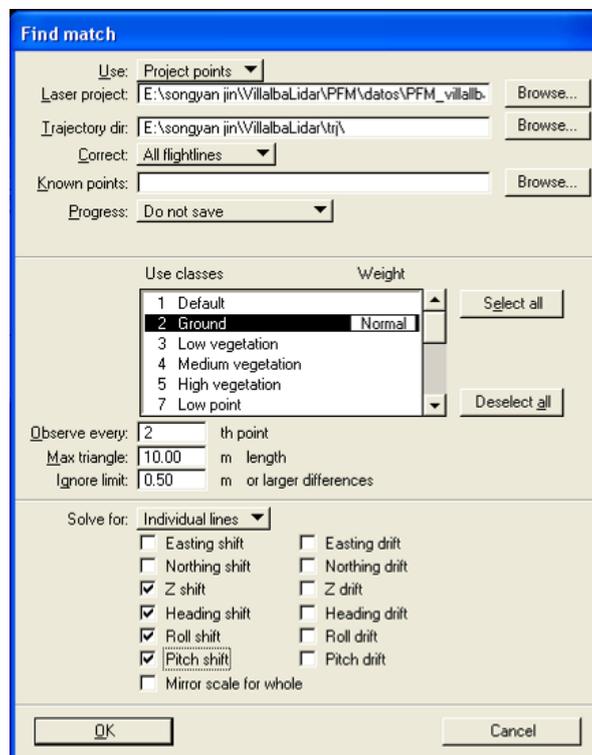


Imagen 10: Find match

6) Aplicación de las correcciones al proyecto

Aplican las correcciones que han calculado anterior en find match, pulsa el botón apply corrección () y en la ventana (imagen 11) de apply correccion, importan la ruta de los nubes de puntos, las trayectorias y las correcciones, al final dar OK.

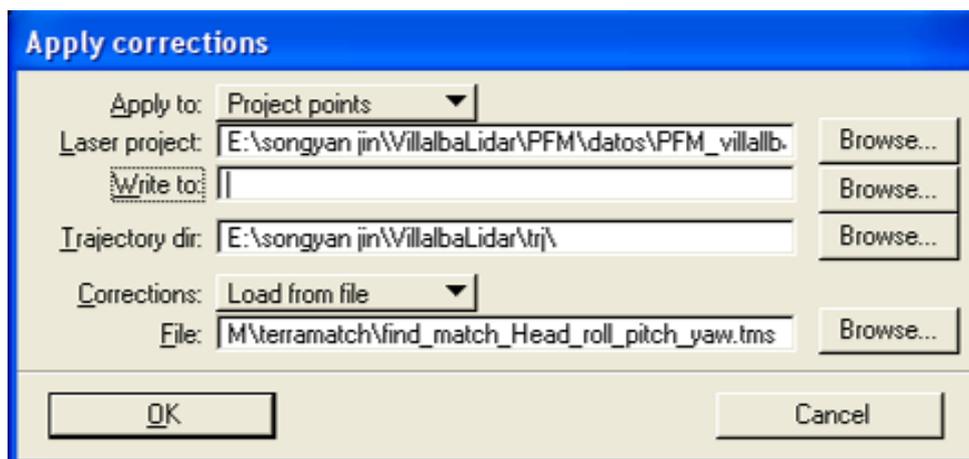


Imagen 11: Apply corrections

Con el mismo paso a calcular correcciones en Z-shift, y aplicar al proyecto.

7) Calculo de la fluctuación del solape

Una vez se han aplicado todas las correcciones, puede calcular la fluctuación de la zona solape, pulsa el botón find fluctuation () y en la ventana (imagen 12) importan la ruta de las nubes de puntos, las trayectorias y la clase que se va a calcular y dar OK. Al final aplicar las correcciones de fluctuación a las nubes de puntos.

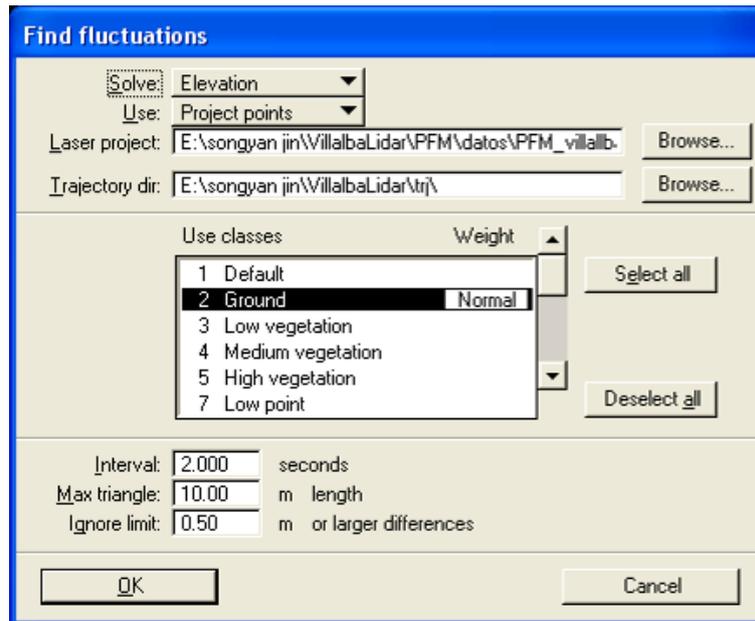


Imagen 12: Find fluctuations

8) Cortar el solape

Este proceso se realiza en macro de TerraScan, una vez terminan calibrar las nubes de puntos, pueden cortar las nubes de puntos solape. En la ventana de macro, en acción de proceso pulsar cut overlap en option, se combina cut by quantity y cut by offset. Como dar los valores de cortar, tiene que probar muchas veces a obtener los mejores valores a este proyecto, con muchas pruebas en las nubes de puntos del estudio, el valor de hole size es 5 m y keep 10 degree corridor. La imagen 13 muestra la ventana de macro a cortar el solape, la imagen 14 muestra el resultado del cortar el solape

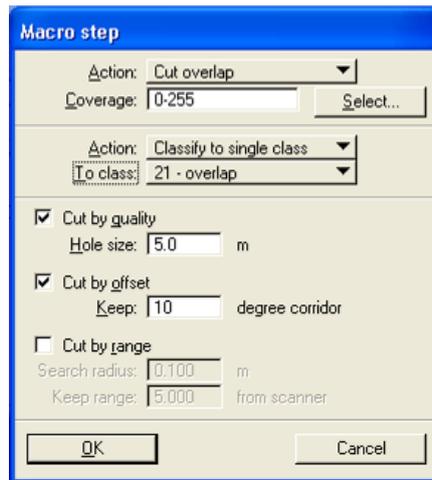


Imagen 13: Macro de Cut overlap

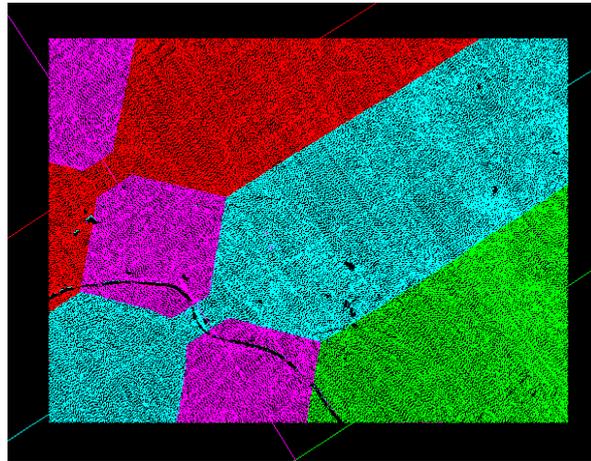


Imagen 14: El resultado de cortar el solape

Capítulo 3 Clasificación de los datos LiDAR

3.1 Introducción

El sistema LiDAR es un sistema que combina un sistema escáner láser, un sistema DGPS y un sistema INS, que calculan las posiciones y las orientaciones del sensor LiDAR. La principal ventaja del sistema LiDAR es que los datos contenido en alta precisión, además contenido las informaciones espaciales, por este motivo LiDAR es una técnica más prometedora y se ha aplicado a la reconstrucción de edificios 3D.

Para generar un DEM, extraer los edificios o modelar una ciudad 3D es necesario clasificar los datos de LiDAR. En el proceso de generar DEM, se tienen que filtrar los edificios, la vegetación, los puentes. En el proceso de modelar la ciudad necesitamos extraer los edificios y la vegetación, para extraer los edificios se requiere una buen clasificación de los puntos de los edificios. Decimos que en el proceso de tratar los datos LiDAR, la clasificación es más importante, más difícil, y un trabajo desafiado. Cuando se procesan nubes de puntos muy densas, se necesita un método de clasificación automático además de muy preciso, para que no se gaste mucho tiempo en la clasificación manual.

Generalmente la clasificación que se hace de las nubes de puntos diferencia el terreno, la vegetación, los edificios, los cables eléctricos, las carreteras, los puentes y el ruido.

En este capítulo se presentan varios métodos para clasificar nube de puntos y una práctica con el programa TerraSolid.

3.2 Relativo al trabajo

Se han desarrollado varios algoritmos para filtrar las nubes de puntos no-terreno. Desde el punto de vista de sentido de proceso, existen 3 tipos, según la superficie, el bloque o la segmentación y la pendiente. En punto de vista de utilización de materiales, existen 3 tipos, se usa las nubes de puntos brutos, el TIN y la triangulación regular. ([4], [5], [6], [7], [18])

En el método basado en la superficie, conjeturan que el terreno tiene continuidad en la elevación. En este método lo más común es usar mínimos cuadrados para ajustar la superficie. Kraus y Pfeifer (1998) presentaron un algoritmo iterativo de mínimos cuadrados para filtrar las nubes de puntos no-terreno para zonas forestales y terrenos montañosos. Brugelmann (2000) reformó el algoritmo de Kraus y Pfeifer y Elmqvist (2001) también desarrollado un algoritmo modelo de contorno activo para extraer el terreno.

En el método basado en segmentación, conjeturan que los objetos del terreno son altos y el terreno es bajo, se basa en el método morfological matemática. Kilian (1996) era la primera persona que usaba este método para filtrar las nubes de puntos no-terreno, y obtenido la gran ventana de proceso filtrar el terreno y el pequeño ventana de proceso no filtrar los edificios.

Axelsson (2000) desarrolló un algoritmo basado en el método de segmentación y en la superficie. Presentó un algoritmo mediante TIN construido con las nubes de puntos más bajos y estableció dos umbrales a

progresivamente densificar a TIN. En cada iteración, la nube de puntos es coartado con TIN, hasta que no queda ningún punto.

Shon and Dowman desarrollaron un algoritmo muy parecido al algoritmo de Axelsson, usan 4 puntos a construir TIN y con 2 TIN a forman tetraedro, con el umbral el largo descripción mínimo a decidir es terreno o no, repetir el proceso que progresivamente densificar hacia arriba y abajo. Krzystek (2003) y Akel (2003) también desarrollado el algoritmo parecido.

En el método basado en el perpendicular, conjeturan que los objetos del terreno tienen las diferencias en la elevación con el terreno, es decir existen el alto perpendicular. Vosselem (2000) a partir del método morphological matemática desarrolló una función núcleo para filtrar las nubes de puntos no-terreno. Sithole (2001) y Roggero(2001) mejoraron el algoritmo de Vosselem.

3.3 Los métodos de clasificación de los datos LiDAR

3.3.1 Clasificación al terreno a partir del modelo TIN ([8], [9])

Cuando se procesan las nubes de puntos, muchas veces se tienen que eliminar los datos que no son necesarios. En el caso de generar DEM, se tienen que filtrar los objetos del terreno. Si interpolan las nubes de puntos en triangulación regular, las nubes de puntos contenido coordenadas x, y valores similares, pero en diferentes elevaciones, en este caso las nubes de puntos no pueden presentar información útil. Por este motivo, el método de interpolación en triangulación irregular es más adecuado.

1) Guión de algoritmo

Una superficie representado en un TIN, es conectado desde bajo hasta la nube de puntos (sub-randomly) distribuido. Si la nube de punto derivado a los parámetros umbrales, la superficie adapta la nube de punto y un nuevo punto a añadido al modelo TIN, la imagen 15 muestra el TIN conectado con los datos LiDAR

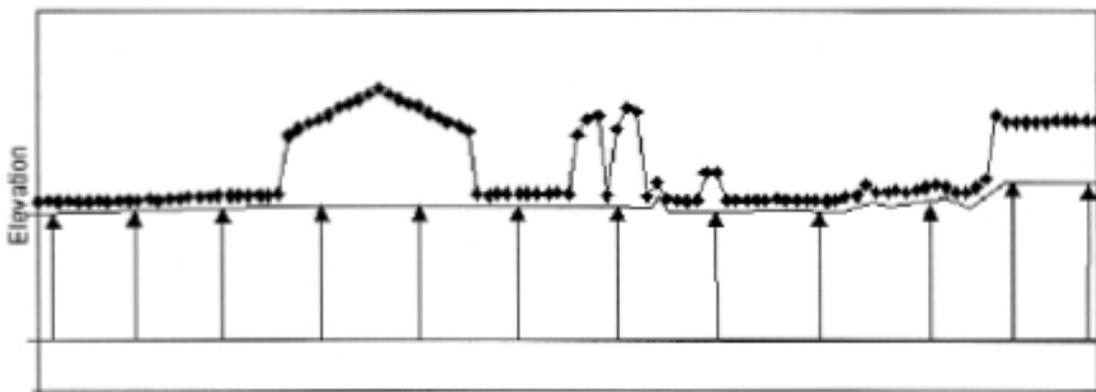


Imagen 15: La superficie TIN conectado con los datos LiDAR

Los parámetros umbrales estimados con las nubes de puntos y se cambian durante el proceso de filtrar. El algoritmo es un proceso iterativo, compuesto un TIN con los puntos semillas iniciales, y progresivamente densificar a TIN, el proceso se describe a continuación:

- ① Con todos los datos calcular los parámetros iniciales
- ② Seleccionar las nubes de puntos semillas
- ③ Densificación iterativa del TIN

Con las nubes de puntos incluidos en el TIN, calcular parámetros para cada iteración.

Si el valor se adapta en el umbral, añadir el punto al TIN.

④ Continuar hasta clasificar todas las nubes de puntos.

2) Estimación de parámetros umbrales

Los parámetros de densificación TIN son la distancia a la faceta de TIN y tres ángulos a los nodos derivados los datos LiDAR. En el caso de la zona urbana, los parámetros umbrales basados en el medio de la estimación de histograma discreto y se usa en el proceso iterativo.

Antes de construir un TIN, los parámetros iniciales coleccionado de todos los puntos, cuando existe un TIN, estimado con los puntos incluido del TIN. La imagen 16 muestra el cálculo de los parámetros umbrales durante la densificación del TIN

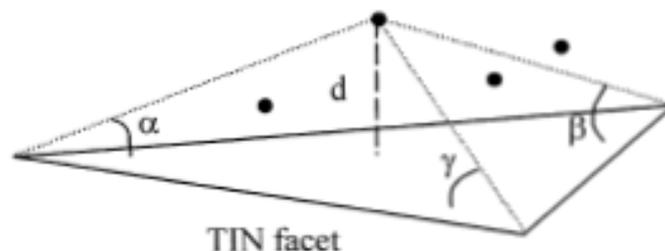


Imagen 16: Los parámetros umbrales

3) Seleccionan los puntos semillas

Los puntos semillas se seleccionan en la red definido del usuario, el tamaño de la red es basado en el máximo tamaño de la estructura. Si selecciona el valor del tamaño entre 50 y 100 m, hay buenos resultados.

4) Densificación del TIN

En cada proceso iterativo, si el punto se ajusta a los umbrales, se va a añadir en el TIN. Este algoritmo es válido para la superficie continua, pero en la superficie discontinua sobre todo en la zona urbana, se van a cortar los bordes fácilmente. La imagen 17 muestra los cortes en los bordes.

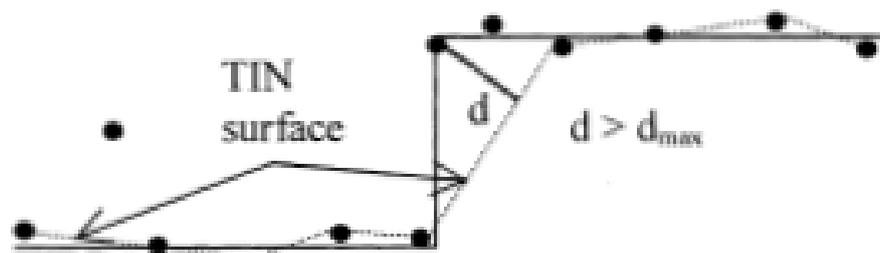


Imagen 17: Cortar los bordes

3.3.2 El algoritmo basado en el pendiente de los puntos ([4], [7])

Este algoritmo se basa en las nubes de puntos brutos, en un crecimiento de regiones, con una característica: la diferencia de altura entre los puntos, establece un umbral a filtrar los puntos no-terreno, y ajustar los puntos terrenos a la superficie.

1) Guión de algoritmo

- ① Definición de una región patrón ó semilla (seed region).
- ② Calculan los parámetros umbrales
- ③ El punto semilla va creciendo mediante la adicción de píxeles vecinos que se ajustan a la superficie en función de determinados umbrales.
- ④ El paso 2 se va a repetir hasta que ningún punto quede.

- ⑤ A continuación se seleccionará el siguiente patrón de región y el punto semilla.
- ⑥ Los pasos 2 y 4 son repetidos hasta que todos los puntos son asignados a una determinada región o bien hasta que no cumplan el criterio establecido.

2) Cálculo de los parámetros umbrales

Los parámetros umbrales se utilizan a ajustar una superficie, son la distancia (h) el punto vecino perpendicular a la superficie, la distancia del punto principal al punto P2', el último es el ángulo entre recta P1P2 y P1P2', la imagen 18 muestra los parámetros umbrales de este algoritmo.

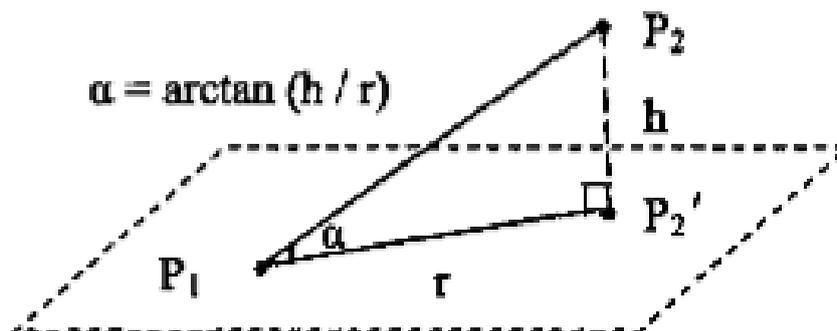


Imagen 18: Los parámetros umbrales del algoritmo basado en el pendiente de los puntos

3) Ajustar la superficie

El proceso de ajustar los puntos a la superficie patrón, se basa en el punto central, si los puntos vecinos cumplen los parámetros umbrales, conjetura que los vecinos parecidos al punto central y agrupan a la superficie patrón.

Este algoritmo afectado en establecer los parámetro umbrales, los parámetros umbrales se seleccionado según topografía de la zona estudio. Los parámetros h_0 y r_0 se elige en 1-2 veces del medio de los estadística de las nubes de puntos, el ángulo suele poner 10-20 grado

3.3.3 El algoritmo basado en linear predicción. ([11], [12], [13])

El algoritmo se basa en la predicción lineal con una precisión individual para cada medición, y funciona iterativamente. En el primer paso, la superficie se calcula con el mismo peso para todos los puntos, o para ser más precisos, para toda z mediciones.

Esta superficie se genera en un modo de un promedio entre las nubes de puntos del terreno y las nubes de puntos de la vegetación. Las nubes de puntos del terreno son más propensas a tener residuos negativos, mientras que las nubes de puntos de vegetación son más propensas a tener residuos pequeños negativos o positivo residuos.

Estos residuos (v_i) se utiliza para calcular pesos (p_i) para cada medición (z_i). Usan la siguiente estimación robusta a calcular el peso.

$$p_i = \begin{cases} 1 & v_i \leq g \\ \frac{1}{1 + (a(v_i - g)^b)} & g < v_i \leq g + w \\ 0 & g + w < v_i \end{cases}$$

Los parámetros a y b determinan el pendiente de la función del peso. Estos valores se fijan para toda área de interés.

Se desvían de la función del peso estándar de la estimación robusta, introducen un valor de cambio g (para datos de escáner láser, g es negativo) y establecer la rama izquierda de la función de peso idéntico a uno. De esta manera, los nubes de puntos con residuos negativos (o se precisa más puntos con los residuos más pequeños que g) obtener el peso máximo de uno. Para los grandes residuos positivos (mayor que $g+w$), el peso se fija en cero. El valor de g se puede calcular con un histograma de los residuales.

El peso p_i se usa al siguiente paso a generar la superficie. Las nubes de puntos contenido alto reduciales con máximo peso, se añadido al superficie, y las nubes de puntos contenido medio reduciales con bajo reducial y se afecta menos en la superficie, las nubes de puntos contenido reduciales a derecha $g+w$ van a eliminar.

3.4 Las características de las nubes de puntos

1) Las nubes de puntos de la superficie llana, están distribuido regularmente, y las diferencias en elevación entre los puntos vecinos son pequeños. El contrario las nubes de puntos de la superficie oscilaciones intensos, las diferencias en elevación entre las nubes de puntos vecinos son grandes. Según las diferencias en elevaciones entre las nubes de puntos se dividen en siguiente forma:

① Los bájaros, los metáricos y los cristales, las superficies son pequeños y las reflexiones son pequeños. Las nubes de puntos de este tipo de puntos se forman aisladas a otros puntos.

② Las carreteras y la superficie suavemente, la superficie esta llano y se generan sólo un eco, las nubes de puntos están distribuido regular, y los diferencias en elevación entre los puntos vecinos son pequeños (menor que 0.2m).

③ Los edificios, la superficie del objeto es suave (depende el tipo de tejado), solo genera una vez de eco, las nubes de puntos son regulares, las diferencias en elevación entre las nubes de puntos vecinos no son pequeños, pero regulares, existen un salto de elevación con el punto vecino.

④ Vegetaciones, se generan varios ecos, las nubes de puntos son irregulares, hay diferencias de elevación entre las nubes de puntos vecinos y también hay elevación del salto con el punto vecino.

⑤ El río, existen un fenómeno de absorción del láser, por eso la zona del río o mar no hay nubes de puntos.

2) Con la posibilidad de atravesar al objeto y el fenómeno de la reflexión, se genera varios ecos, el sistema LiDAR puede registrar hasta 4-5.

① Solo hay un eco, la superficie del terreno o el tejado del edificio. Hay varios ecos, las vegetaciones y el borde del edificio, por que el láser se puede atravesar a la vegetación, el láser se puede reflejar el borde del edificio, por este motivo existen varios ecos. Pero en la zona de la vegetación muy tensa, el láser no se puede atravesar a la vegetación, en esta zona solo hay un eco.

② Primero eco, se genera en la superficie del terreno, el tejado del edificio, y sumidad de la vegetación, otros ecos se generan con el motivo de característica del atravesación o reflexión del láser, normalmente se generan en el interior de la vegetación y la superficie bajo de la vegetación.

3) La intensidad del objeto

La intensidad del objeto se proporciona directa con la reflexión del láser al objeto, si la reflexión es más alta, la intensidad es más alta, además se relaciona con atmósfera y el ángulo de la admisión del sistema.

Entre las nubes de puntos solo hay un eco, distinguen la superficie del terreno, la carretera cemento y el tejado del edificio cemento. La media intensidad del terreno es 148, La media intensidad de la carretera cemento y el tejado del edificio cemento es 55.26, La media intensidad de la vegetación es 116.32

3.5 Práctica en TerraSolid.

En el capítulo anterior se ha presentado el programa Terrasolid, en el proceso de la clasificación del dato LiDAR, se utiliza el módulo TerraScan y TerraPhoto, en el TerraScan se clasifica los datos automáticamente, en TerraPhoto se añade el ortofoto al proyecto, se combinan el ortofoto con las nubes de puntos a clasificar manualmente.

3.5.1 Clasificación automática

En este proyecto se va a clasificar los puntos al terreno, la carretera, el edificio, el puente y la vegetación, combinando la información de los ecos, la intensidad, z-tolerancia y el área mínima del edificio. La imagen 19

muestra el flujo del trabajo en la clasificación de las nubes de puntos en TerraSolid.

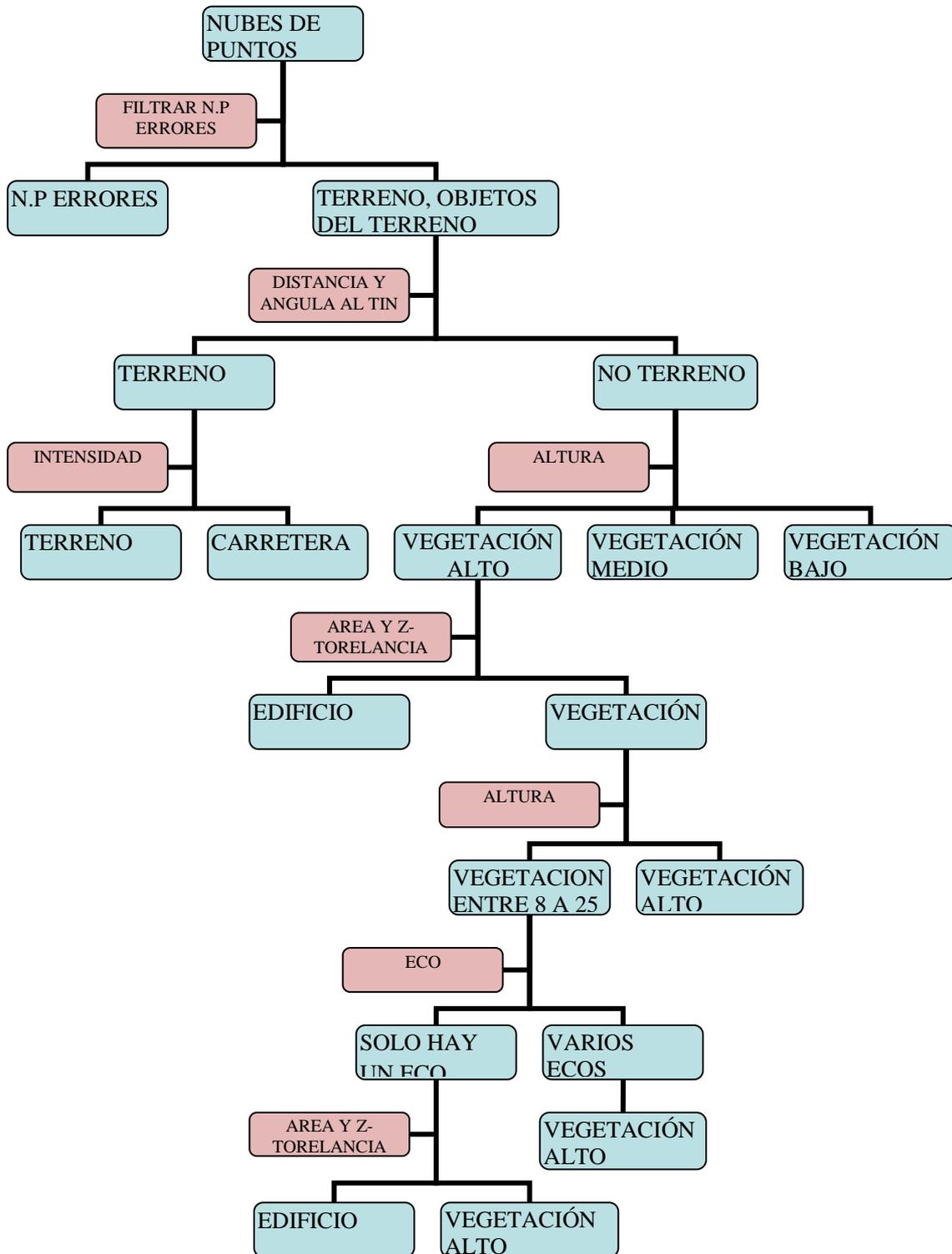


Imagen 19: El esquema de la clasificación de los datos LiDAR en TerraSolid

1) Clasificación del terreno

El algoritmo para clasificar el terreno en el programa TerraSolid se utiliza el método se desarrolló Axelsson(2000). El algoritmo es un proceso iterativo, compuesto un TIN con los puntos semillas iniciales, y progresivamente densificar el TIN con umbral parámetros.

En anterior, el proceso de calibrar las nubes de puntos, se ha filtrado el ruido de las nubes de puntos. El resto de puntos se van a clasificar en la clase “por defecto”, para después clasificarlas en las clases correspondientes.

En el módulo TerraScan se ejecuta un macro para clasificar las nubes de puntos, en la ventana principal, pulsar macro, aparece la ventana de macro, ahí añadir un macro a ejecutar en las nubes de puntos importados. La imagen 20 muestra la ventana de macro a clasificar al terreno, clasifican de la clase defecto a la clase terreno, en la área máxima 250*250m a buscar la nube de puntos semillas a generar un TIN, en un proceso iterativo, con dos parámetros máximo un ángulo 6 grado al TIN, y máxima distancia 1.4 m al plano, progresivamente densificar a TIN. La imagen 21 muestra el resultado de la clasificación.

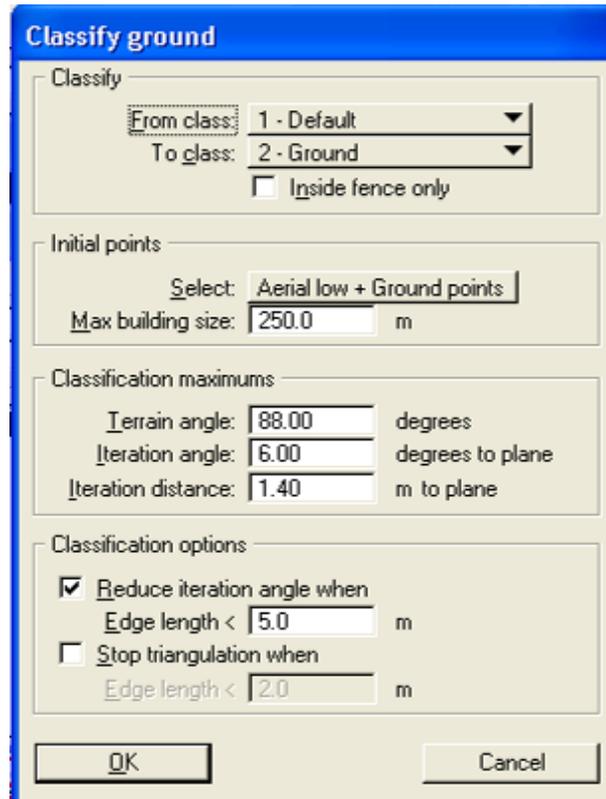


Imagen 20: Macro del terreno

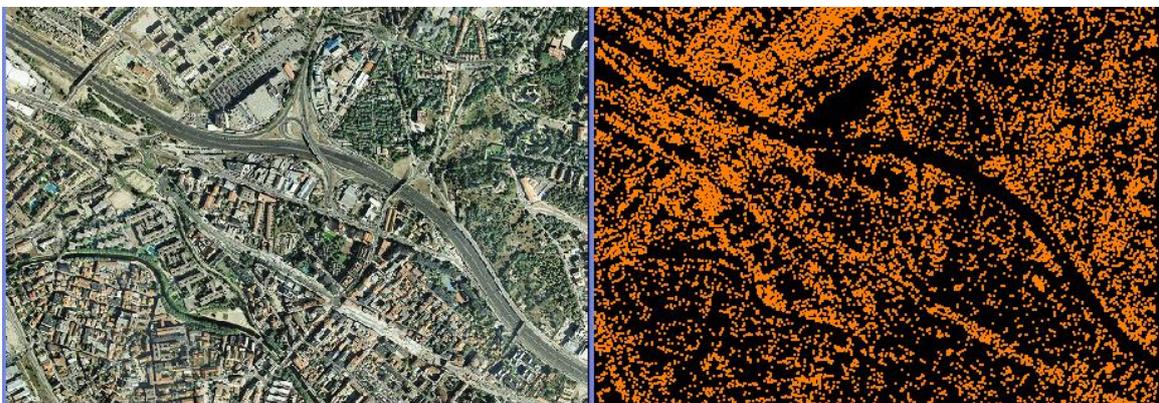


Imagen 21: El resultado de clasificación del terreno.

Se han clasificado 361086 puntos como terreno, y el punto de elevación máxima es 934.48m y el mínimo 863.34m. En este proceso se estima si la nube de punto es terreno o no, el restos de puntos no-terreno a posteriori se van a clasificar como edificio o vegetación.

2) Clasificación de la vegetación

Entre los puntos no-terreno, con el umbral de altura se van a clasificar a 3 tipos de vegetaciones, vegetaciones baja (entre altura 0 a 0.2m), vegetaciones media (entre altura 0.2 a 3 metro), vegetaciones alta (entre altura 3 m a 1000m). Como anterior, en la ventana de macro añade un macro múltiple, primero clasificar la clase defecto a la clase baja vegetación, segundo es clasificar la vegetación media desde la vegetación baja, las nubes de puntos que contenido la altura desde 0.3 m a 1000m (imagen 22) se van a clasificar a la clase vegetación media, el último las nubes de puntos que contenido la altura desde 3m a 1000 m se van a clasificar a la clase vegetación alta. La imagen 23 muestra el resultado de la clasificación de la vegetación.

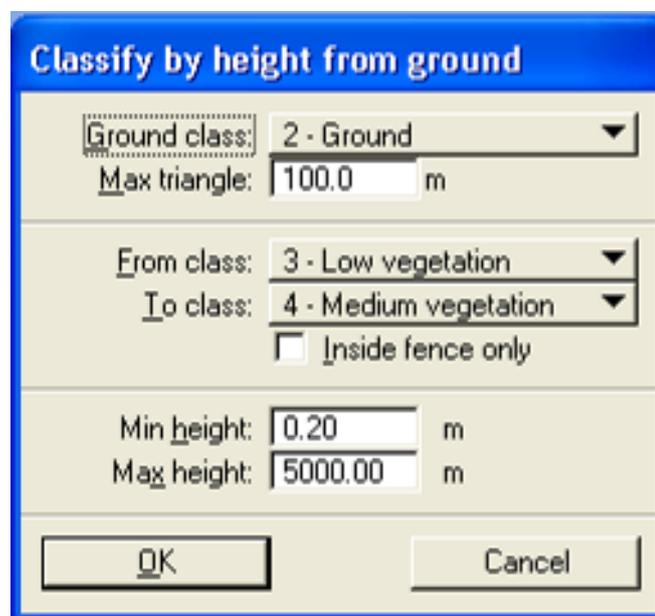


Imagen 22: Macro de la clasificación en altura

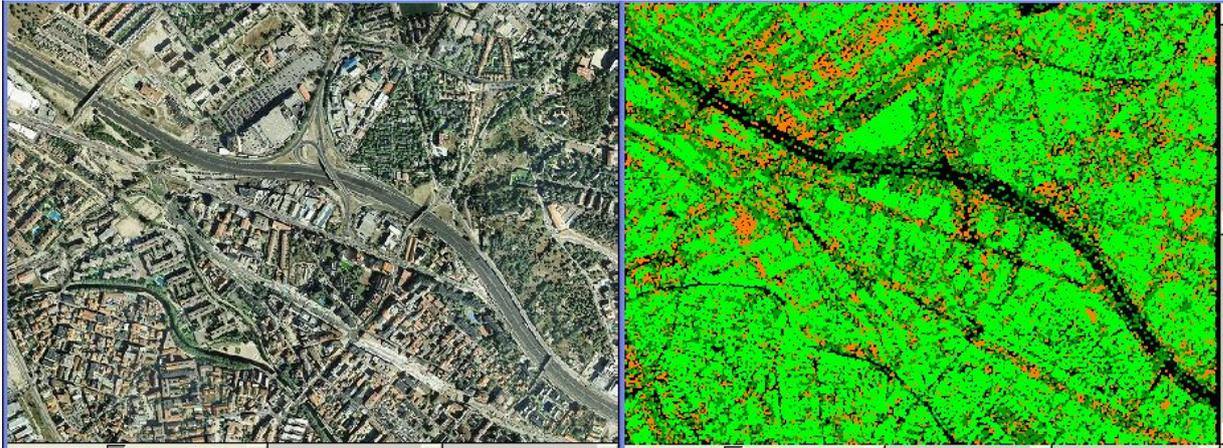


Imagen 23: Clasificación de la vegetación

Se han clasificado 50543 puntos en la clase vegetación baja, el punto de elevación máxima es 942.35m y el mínimo 857.69m. Se han clasificado 331291 puntos en la clase vegetación media, el punto de elevación máximo es 846.02m y el mínimo 939.32m. Se han clasificado 746932 puntos en la clase vegetación alta, el punto de elevación máximo es 1083.36m y el mínimo 848.45m.

3) Clasificación de los edificios

La zona de estudio es una zona urbana, los edificios distribuido densos, además las viviendas están entre 3 y 5 plantas, se imaginan las alturas de edificios entre 8 metros a 24 metros, por eso tiene que clasificar los edificios desde las clase vegetación alta. En el programa terrasolid se pone dos umbrales para extraer el edificio, uno es el área mínima del edificio, y otro es z-tolerancia. Se pone mínimo tamaño del edificio a 150 metro cuadrado, y z-tolerancia se pone 0.65 m, en la zona de estudio hay un bosque, y los árboles son muy densos, para filtrar el bosque se pone mínimo tamaño del edificio muy grande. La imagen 24 muestra la ventana

de macro a clasificar al edificio, la imagen 25 muestra el resultado de la clasificación.



Imagen 24: Macro de clasificar los edificios



Imagen 25: Primera vez de la clasificación del edificio

Con los umbrales de mínimo tamaño del edificio y z-torerancia, los bordes y los tejados del edificio no se han clasificado, para a posteriori trabajar menos en manual, se tiene que desarrollar un método para extraer los bordes.

Se imagina que los edificios están en la altura entre 8 a 24 metros, extraen las nubes de puntos en altura de 8 a 24 metros. Con la información eco del edificio, los edificios contenido un eco, entre las vegetaciones en alturas de 8 a 24 metros, filtran las nubes de puntos contenido un eco. Entre las nubes de puntos sólo hay un eco ponen dos umbrales a extraer edificios, se pone mínimo tamaño del edificio a 40 metro cuadrado, y z-tolerancia a 0.65m. La imagen 26 muestra la segunda vez de clasificación del edificio

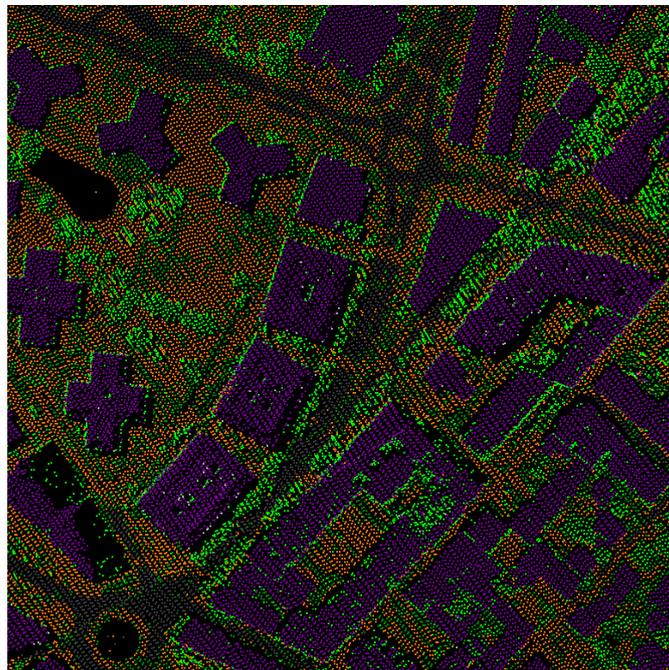


Imagen 26: Segunda vez de la clasificación del edificio

Se han clasificado 402055 puntos como edificios, y el punto de elevación máximo es 1079.31m y el mínimo 848.4m. En este proceso los bordes del edificio no se han extraído bien, los árboles densos se han clasificado como edificio y se tienen que modificar manualmente.

4) Clasificación de la carretera

Las carreteras se han clasificado como terreno, por que las nubes de puntos de la carretera son regulares, y no hay muchas diferencias en la elevación. Para distinguir la carretera y el terreno, se usan información de la intensidad, la intensidad media de la carretera es 55.26, y la del terreno 148.13. En ambas nubes de puntos hay un sólo eco.

En el programa se filtran las nubes de puntos que tienen varios ecos, y el siguiente paso es filtran las nubes de puntos con intensidad entre 40 y 100 como clase carretera. La imagen 27 muestra el macro para clasificar la intensidad, y la imagen 28 muestra el resultado de la clasificación.

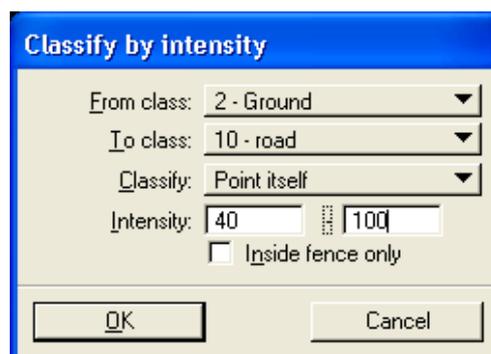


Imagen 27: Macro de clasificar la intensidad

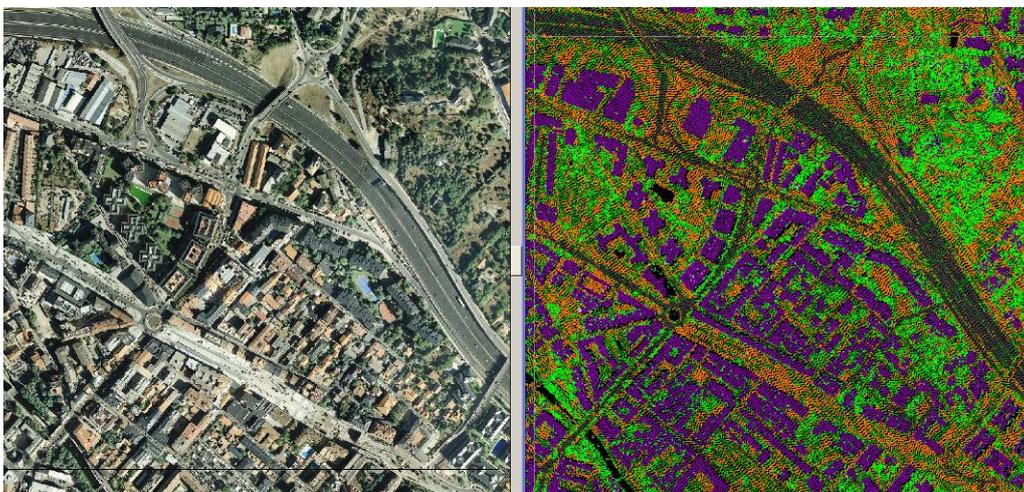


Imagen 28: Clasificación de la carretera

Se han clasificado 185430 puntos como terreno, y el punto de elevación máxima es 938.56m y el mínimo 826.01m. En este proceso la carretera se ha clasificado muy bien. La siguiente imagen (imagen 29) muestra el resultado de la clasificación automática que se ha realizado.

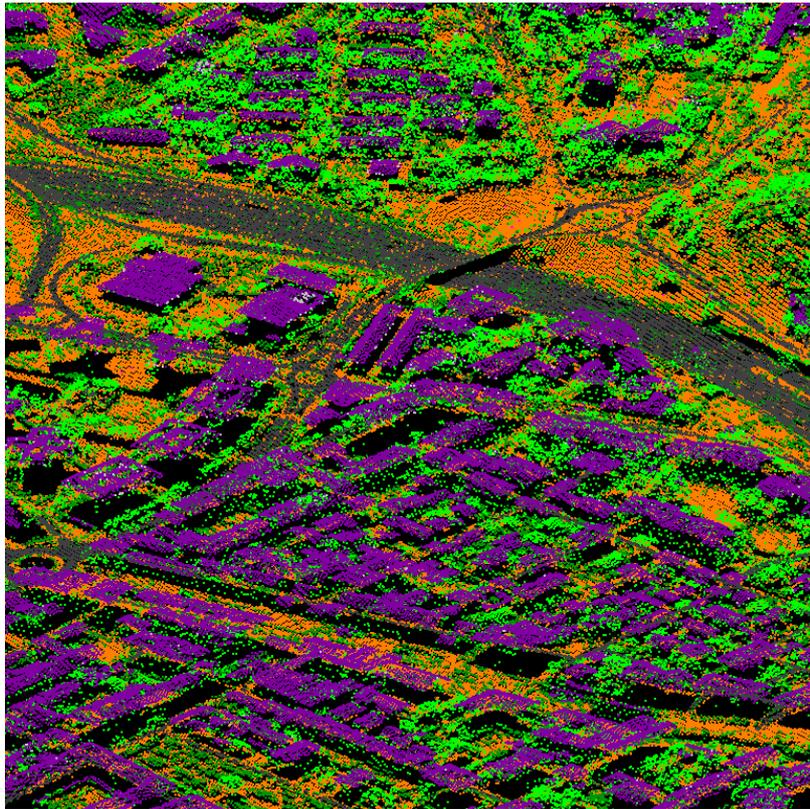


Imagen 29: El resultado de clasificación en la vista del modo isométrica

3.5.2 Clasificación manual

El programa ha clasificado las nubes de puntos automáticamente muy bien, pero para a posteriori reconstruir los edificios y modelar una ciudad 3D, se requiere una buena clasificación. Este proceso requiere clasificar bien los bordes del edificio, y filtrar los árboles que se han clasificado automáticamente como edificios.

Combinando una ortofoto de la zona de estudio con los datos LiDAR, con el módulo TerraPhoto se importa la ortofoto y se pueden visualizar ambas informaciones de forma sincronizada.

Para importar la ortofoto al proyecto, en la herramienta general de TerraPhoto, pulsamos el botón manage raster referents (). Aparece la siguiente ventana (imagen 30), pulsando attach files, se busca la ruta de la ortofoto, y pulsando añadir, aparece una ventana de seleccionar visualización referencia y la corresponde vista.

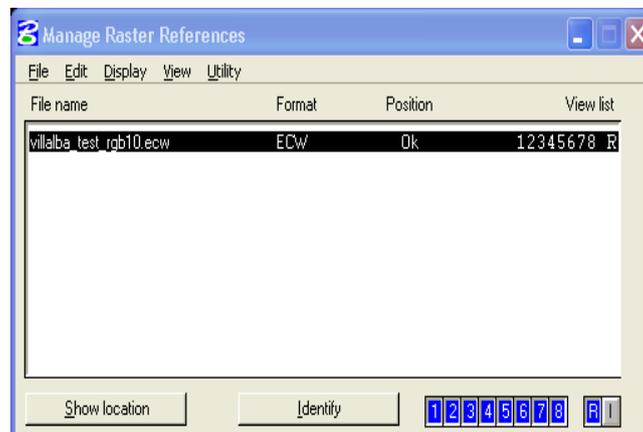


Imagen 30: la ventana de importar la ortofoto

En el módulo TerraScan hay unas herramientas para modificar las nubes de puntos (), modifican en el modo de punto, en el modo de valla, en el modo de arriba o abajo de una línea, etc.

La clasificación en manual es un trabajo denso y cuesta mucho tiempo. La imagen 31 muestra el resultado final de la clasificación, la imagen izquierda es el ortofoto, la imagen del centro es el resultado de la clasificación manual y la imagen derecha es el resultado de la clasificación automática. La imagen 32 muestra el resultado de clasificación final.

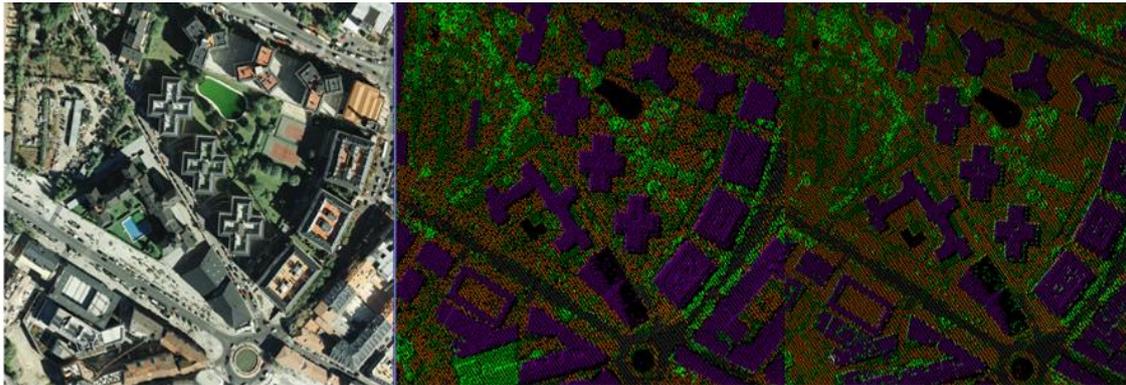


Imagen 31: Comparación de la clasificación en automática y manual

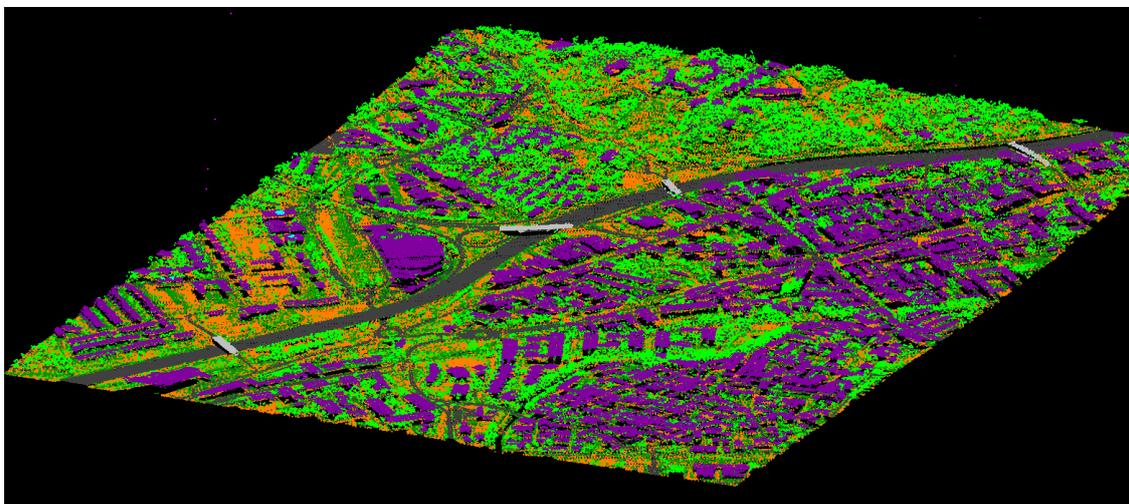


Imagen 32: Clasificación final

3.5 Conclusión

En este capítulo se han presentado varios métodos de clasificación de los datos LiDAR que se basan en las características geométricas y los atributos de las nubes de puntos. Se ha hecho una práctica en el programa TerraSolid y se han conseguido buen resultado.

Capítulo 4 Reconstrucción del edificio y la ciudad 3D

4.1 Introducción

En el trabajo de crear una ciudad 3D, la reconstrucción del edificio es una de las partes más importantes. Con el desarrollo de la técnica de detección en las imágenes aéreas, las imágenes satélites y los datos LiDAR se utiliza para extraer los edificios y reconstruirlos. El sistema LiDAR no sólo detecta los edificios y los bordes, además detecta la información de los tejados, por eso cada día el sistema LiDAR se utiliza más en el campo de la reconstrucción de edificios.

En este capítulo se va a presentar la reconstrucción y la modelización de edificios, y en la parte de la práctica en TerraSolid se va a practicar en la vectorización de los edificios, triangulación del ortofoto y la detección de los árboles, el pegado de texturas a los modelos y al final la generación de un video de la ciudad 3D.

4.2 Relativo al trabajo

Existen dos tipos de trabajo en la reconstrucción, uno es combinar los datos LiDAR con las imágenes de teledetección o el diseño del planeamiento de la ciudad.

Brenner y Haala(1998) desarrollaron un método de integrar el DSM que interpola desde los datos LiDAR con el modelo del suelo 2D a reconstruir automático o semi-automático.

Vosselman desarrolló (1999) un método basado en el diseño del planeamiento y Hough transform a extraer las caras del objeto de los datos LiDAR irregulares.

Brenner(2000) desarrolló un método basado RANSAC(randam sampling consesus) en extraer las caras del objeto desde DSM regular.

Vosselman y Dijkman(2001) desarrollaron un método parecido al método que había desarrollado Vosselaman el año1999, sin embargo, para evitar las caras del tejado falsos, los planos del suelo se presentan en información adicional.

Rottentriner y Briese(2003) también desarrollaron un método parecido al método que había desarrollado Vosselaman el año1999, extraer el tejado basado en región semilla y región crecido en el DSM regular

4.3 Método de reconstrucción automática de edificios ([14])

Hay dos tipos de reconstrucción del edificio, uno basado en imágenes y los datos LiDAR, otro basado en datos LiDAR. En este proyecto solo se trabaja con los datos LiDAR. Se va a presentar un algoritmo que desarrollaron Vosseman y Dijkman

4.3.1 Extracción de planos

El principio de la Transformada de Hough 2D consiste en la representación de un conjunto de los puntos definidos inicialmente en el espacio euclideo o espacio imagen en un espacio de los parámetros. Esta transformación permitirá la extracción de geometrías básicas bidimensionales.

El mismo principio podría aplicarse a un contexto 3D, de forma que un plano (ver siguiente ecuación) en el espacio LIDAR ($O'XYZ$) será visto como un punto (a, b, d) en el espacio de parámetros ($O'abd$)

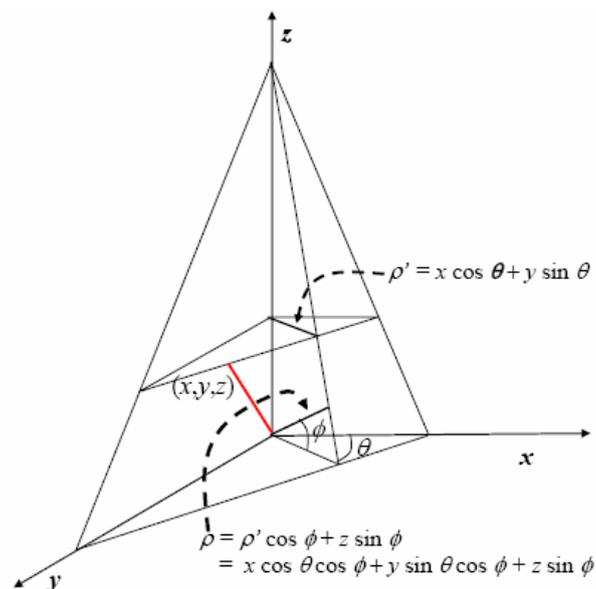
$$Z = aX + bY + d$$

De la misma manera, si un plano tiene la forma (ver siguiente ecuación), no podrá ser representado en el espacio de parámetros ya que el coeficiente del eje Z es igual a 0.

$$aX + bY + d = 0$$

De cara a resolver estos problemas de mal condicionamiento, se sugiere optar por la ecuación paramétrica del plano en 3D,

$$\cos \theta \cdot \cos \phi \cdot X + \sin \theta \cdot \cos \phi \cdot Y + \sin \phi \cdot Z = \rho$$



donde θ , ϕ , son los ángulos de orientación del vector normal al plano, siendo θ el ángulo entre el eje x y la proyección del vector normal en el

plano xy , y ϕ el ángulo entre el vector normal y el plano xy ; ρ es la distancia ortogonal entre el plano y el origen del sistema de coordenadas cartesiano. Si θ , ϕ , ρ son constantes y el espacio de parámetros es $(O'\theta\phi\rho)$. En este caso, un punto $(X1, Y1, Z1)$ en el espacio 3D representará una superficie sinusoidal en el espacio de parámetros.

4.3.2 Ajuste del plano

En el proceso de extraer plano, las nubes de puntos se han dividido en varios planos, en el proceso ajustar los puntos del mismo plano, se utilizan mínimos cuadrados para ajustar el plano. Se usan todos los puntos para estimar los parámetros del plano más preciso, calcular la pendiente y la distancia a los parámetros lineales, calcular la desviación estándar as consideración de la altura.

4.3.3 Detección de la línea intersección de dos planos

Si dos planos $A_1x+B_1y+C_1z=I$, $A_2x+B_2y+C_2z=I$ se intersectan en la línea L , las coordenadas de un punto de la línea L se calcula con la siguiente ecuación:

$$\begin{cases} x = x_0 \\ y = \frac{C_1A_2 - C_2A_1}{B_1C_2 - B_2C_1}x_0 - \frac{C_1 - C_2}{B_1C_2 - B_2C_1} \\ z = \frac{A_1B_2 - A_2B_1}{B_1C_2 - B_2C_1}x_0 - \frac{B_1 - B_2}{B_1C_2 - B_2C_1} \end{cases}$$

Con esta ecuación se calculan las coordenadas de los puntos de los bordes del edificio.

4.3.4 Creación del modelo

El modelo de edificio (imagen 33) gablete hay 10 vértice, por el paramento perpendicular al terreno, el plano 3456 paralela al plano 78910, si se conocen las coordenadas de los puntos 3456, también se conocen las coordenadas del 78910. El punto 1 y 2 tiene la misma altura, el punto 3 y 4, el punto 4 y 5, el punto 7, 8, 9, 10 también. Cuando se asignan todas las coordenadas, se construye el modelo del edificio.

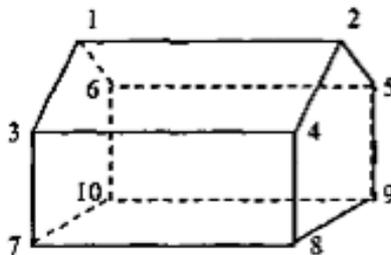


Imagen 33: el modelo del edificio

4.4 Práctica en TerraSolid

4.4.1 Modelización del edificio

En el capítulo anterior, se ha presentado extraer los edificios en el programa TerraSolid, en este capítulo se va a tratar de modelizar los edificios. Para este proceso se utiliza los módulos TerraScan, TerraPhoto, en TerraScan vectorizan los edificios y combinando con la ortofoto pegar las texturas a los edificios. En el proceso de pegar texturas, se tienen que chequear todos los edificios uno a uno, es un trabajo muy denso y cuesta mucho tiempo.



En TerraScan con dos herramientas () se vectorizan y chequean los edificios y chequearlos. Si se han extraído los edificios y se ha clasificado el

terreno, el programa genera la vectorización del edificio rápido y automático. Antes de empezar la vectorización, se tiene que poner bien ajuste del modelo, en la herramienta general, pulsa el botón setting (), en el modulo vector vectorization, hay tres ajustes, editing tools, level, model, en la ventana de model (imagen 34), la pared empieza 0.5 m bajo del terreno, y el espesor del tejado pone en 0.25m. Cuando preparado todo pulsa icon vectorizar edificio, aparece la ventana de parámetros del modelo, en la clase tejado selecciona la clase edificio, y en la clase tejado usado selecciona una clase a generar vectorización, además tiene que seleccionar las clases que tienen menor alturas que la clase edificio, el siguiente pone los parámetros de modelos máximo brecha (el máximo distancia entre los edificio que pertenecen a mismo modelo), la tolerancia de planaridad, la tolerancia de aumento al plano horizontal, mínimo área de huella del edificio, el máximo pendiente del tejado. Cuando terminan a poner los parámetros, dan OK y en unos minutos el programa vectoriza los edificios. La imagen 35 muestra el resultado de vectorizar los edificios.

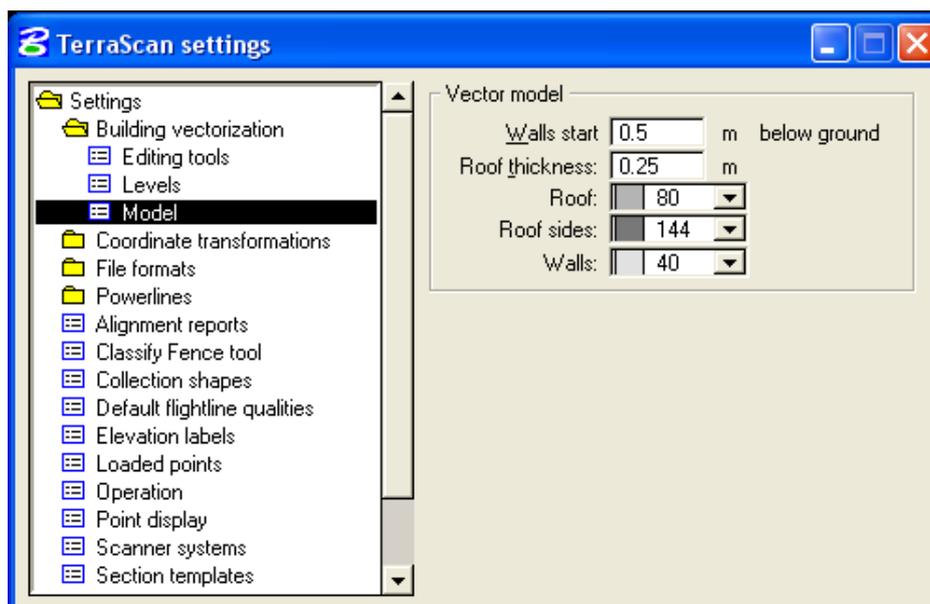


Imagen 34: Ajuste del modelo de edificio

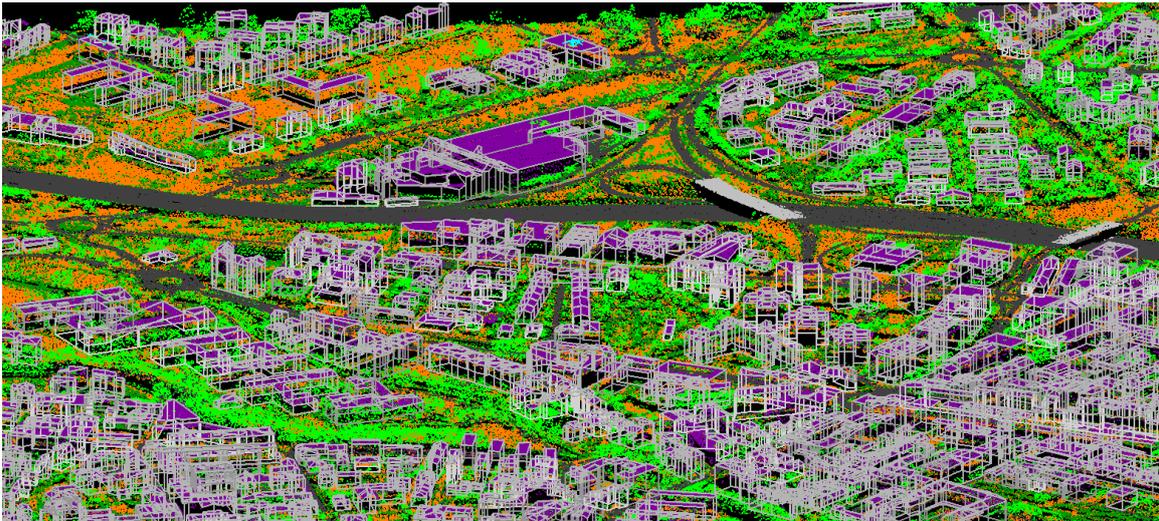


Imagen 35: Vectorización de los edificios

Aunque el programa ha modelado automáticamente y muy rápido, en los modelos hay fallos. En la siguiente imagen 36 se muestra que el tejado del edificio no está en el mismo plano. Estos problemas se tienen que modificar en el proceso de chequear los edificios.

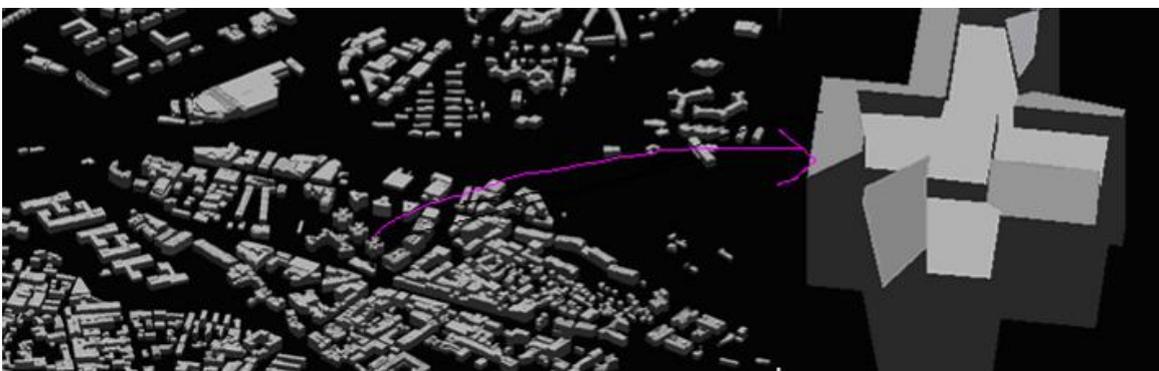
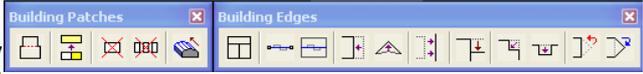


Imagen 36: Visualización del modelo del edificio en render

El siguiente proceso es chequear los edificios, en la TerraScan hay dos barras de editar los edificios (), uno es parche del edificio, con esta herramienta juntar, separar los planos,

o quitar plano, otro es borde del edificio, con esta herramienta editar los bordes.

Cuando modifican los bordes del edificio, tienen que combinar con ortofoto, por que las texturas que pegan en los edificios, son desde el ortofoto. Por eso, requiere el ortofoto sea buena y ajuste bien con los datos LiDAR. Para importar un ortofoto en TerrPhoto, en la herramienta principal de TerrPhoto pulsa gestión del raster referencia (), se aparece la ventana de buscar la ruta de ortofoto, añaden al proyecto, cuando se aparece seleccionar la visibilidad de la referencia, da el número de vista a visualizar el ortofoto y da render también.

Si terminan editar un edificio, tienen que dar al edificio aprobado, cuando se aprueba el edificio, desde la herramienta del render (), dan la visualización en el modo render (), se visualiza la textura. Imagen 37 muestra el resultado de chequear los edificio.

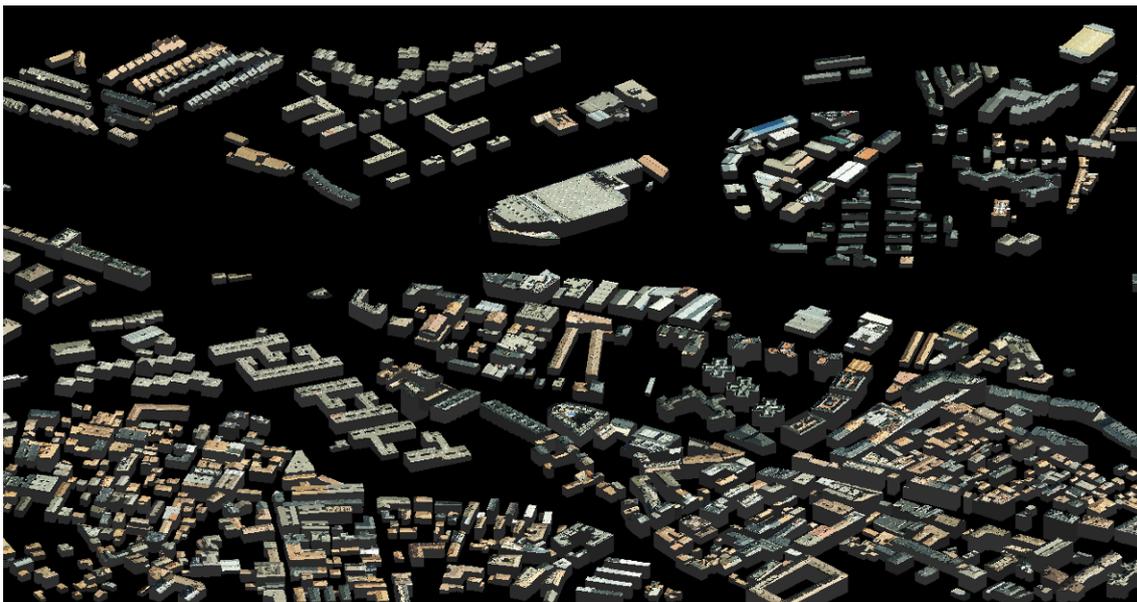


Imagen 37: Los edificios con sus texturas

4.4.2 Detectan los árboles

El programa tiene capacidad de detectar diferentes tipos de árboles y añadir o quitar el modelo del árbol al proyecto. Antes de empezar detectar los árboles, se tienen que ajustar los modelos de los árboles a detectar. En el ajuste de TerraScan hay un miembro el tipo del árbol, pulsa este ajuste se aparece la ventana (imagen 38) de editar el tipo de árbol. Tienen que poner el nombre del árbol, la ruta del modelo, el máximo y el mínimo altura de este tipo del árbol, la variación del ancho. TerraScan sólo reconoce los modelos de la empresa ARCHVISON, en el formato .RPC.

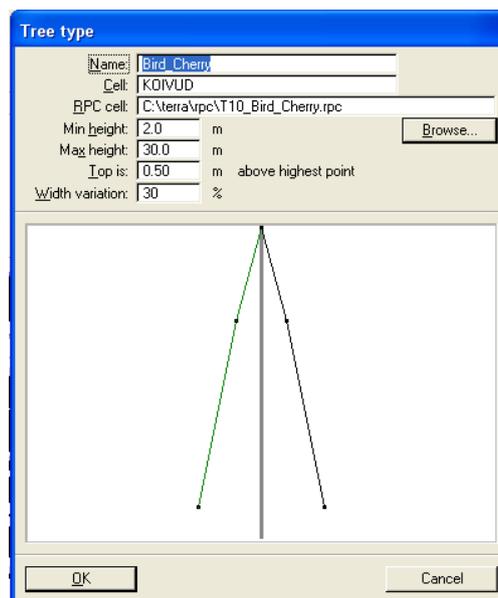


Imagen 38: edición del árbol

Cuando terminan editar el tipo de árbol, importan las nubes de puntos, no es necesario importar todos puntos, en este proceso va a trabajar con la vegetación media y alta. Generan un macro a juntar dos clases a una clase. En la ventana principal de TerraScan, pulsan detectar árbol, aparece la siguiente ventana (imagen 39). En la ventana puede seleccionar que tipo

de árbol se va a detectar, seleccionan correspondiente clases, en la tolerancia se pone 1.5 m, con la experiencia si tolerancia es más alta, detecta más árboles, sin embargo los bordes del edificio también se detectan, por eso tiene que poner bien la tolerancia, al final dar OK y el programa detecta los árboles.

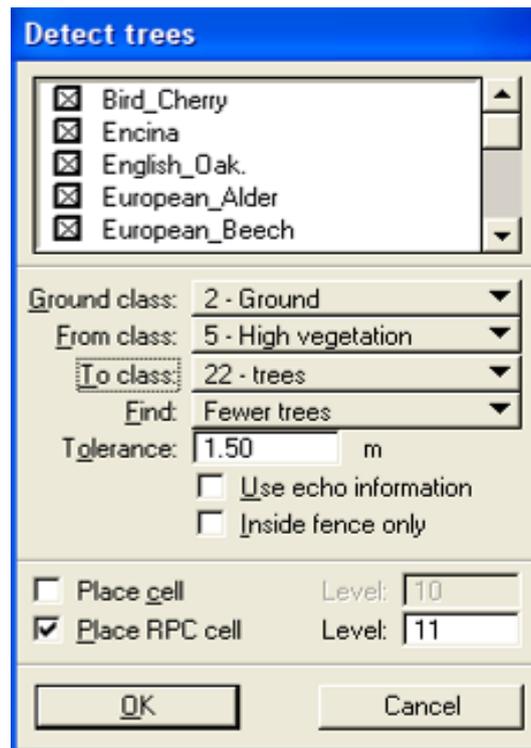


Imagen 39: La ventana de detectar los árboles

Para añadir los árboles manualmente, se utiliza el icon place rpc trees () del TerraPhoto. Pulsan este botón y busca la ruta de los ficheros RPC, vuelven a pulsar este botón se aparece una ventana (imagen 40), en la ventana seleccionan el tipo de árbol se va a añadir, se puede poner el tamaño de árbol real, hacen sección en la vegetación y miden la altura y el ancho, y luego ponen el tamaño del árbol, una vez ha puesto todos

informaciones del modelo, pulsamos en el sitio que se va a añadir. Siguiendo la imagen 41 se muestra el resultado de detectar los árboles.



Imagen 40: La ventana de añadir el modelo del árbol

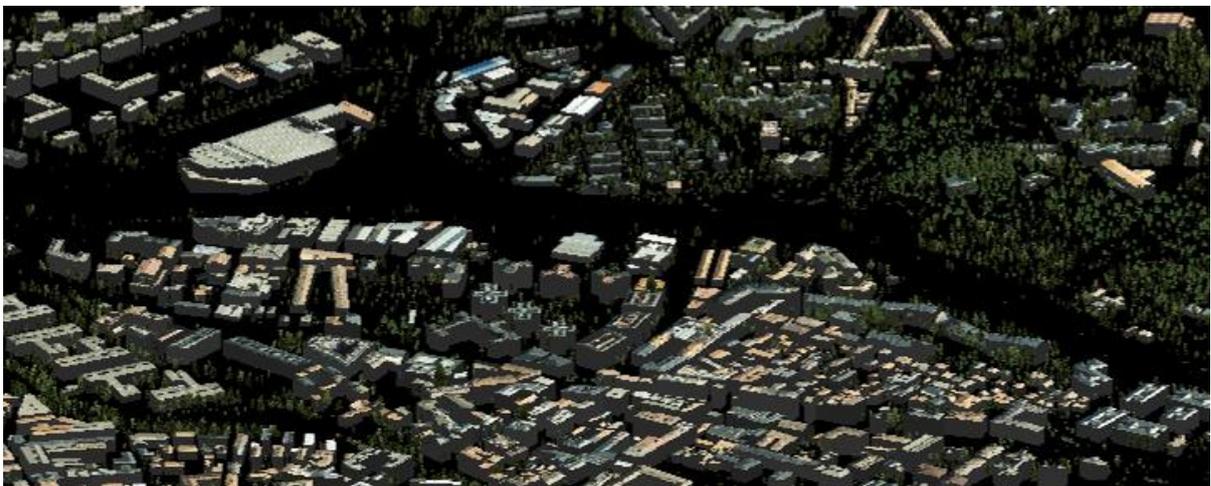


Imagen 41: El resultado de detectar los árboles

4.4.3 Triangulación de la ortofoto

Este proceso es para pegar la textura al terreno, a posteriori juntamos con el modelo del edificio y el modelo del árbol, creando una ciudad 3D. Tienen que importar las nubes de puntos del terreno, pero en este proyecto los puntos del terreno es muy denso, para triangular la ortofoto no es necesario los puntos tan densos, y además para modificar la triangulación manualmente, es mejor importar menos puntos, por eso se importan uno

de cada 100 puntos. Lo siguiente es crear una superficie con las nubes de puntos que se han importado, este proceso se ha realizado en TerraScan, pulsando el botón create editable model (), aparece la ventana (imagen42), en esta ventana seleccionar la clase que va a crear un modelo y el siguiente dan nombre del modelo. Importan el ortofoto al proyecto desde el módulo TerraPhoto. En TerraModeler, pulsando mostrar triangulación del ortofoto () en la herramienta de mostrar región, se aparece la ventana (imagen 43) de poner la información de triangular, seleccionan la superficie que ha creado anterior, muestran por TerraPhoto Rendering, al final dan OK. Para visualizar la triangulación de la ortofoto, tienen que mostrar en el modo del render (), imagen 44 muestra el resultado de triangular el ortofoto, también muestra los modelos de los edificios y los árboles.

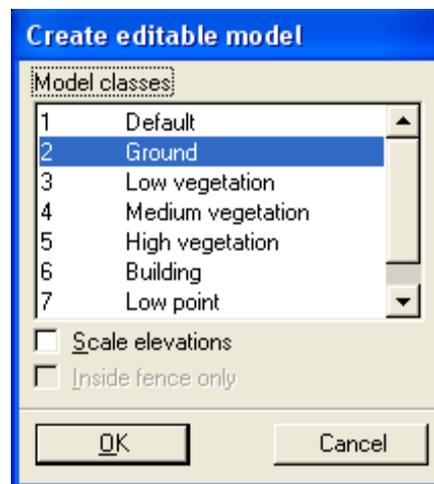


Imagen 42: crear un modelo editable

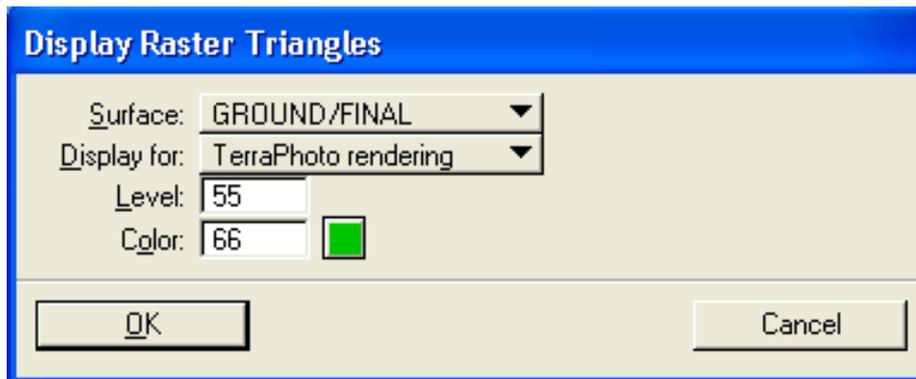


Imagen 43: La ventana de triangular el ortofoto



Imagen 44: El resultado de la ciudad 3D

4.4.4 Crean un video de la ciudad 3D

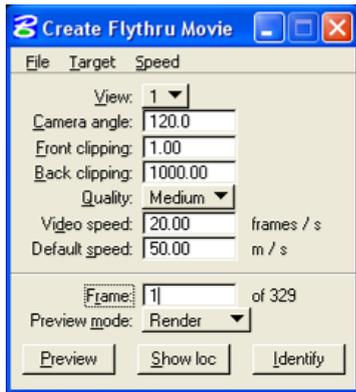
La deficiencia del programa TerraSolid no es sólo reconocer el modelo del árbol, no reconoce el modelo del coche. Es una pena que en la ciudad 3D no se puedan incluir otros modelos.

Cuando terminan vectorizar los edificios, detectar los árboles, y triangular el ortofoto, pueden hacer un video de la ciudad 3D, el programa facilita a crear un video desde su herramienta, pueden crear en el modo del horizontal o en el modo del encima de la superficie.

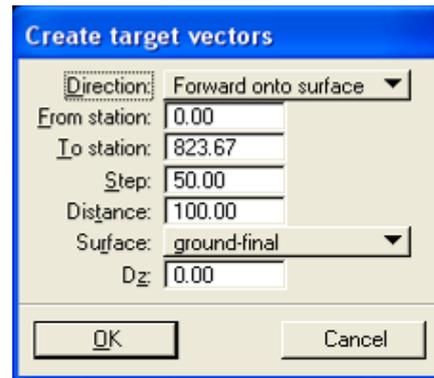
El primer paso es generar una ruta del vuelo, en la herramienta principal de TerraModeler pulsamos en el view elevation () , aquí poner la elevación del vuelo, y seleccionamos la superficie que va a volar. Siguiendo el siguiente paso es en los elementos lineales del Microstation, pulsamos el icon poner smartline, cambiamos la propiedad de la línea y empezamos a dibujar la ruta en el proyecto.

Para crear un video hay 2 opciones, uno es crear directamente al video con la ruta ya dibujada, otro es crear unos macros, luego editamos los macros y al final creamos un video desde los macros, es mejor que crear macro y generar un video.

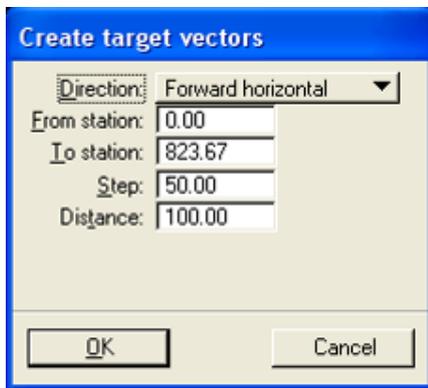
Cuando ha terminado de dibujar una ruta del vuelo, con la herramienta seleccionamos el elemento del Microstation, seleccionamos la ruta y pulsamos en el botón create flythru movie () de TerraPhoto. Se aparece siguiente ventana (imagen 45a), ponemos el ángulo de cámara, la velocidad del vuelo. Para el modo del vuelo, pulsamos el botón target, hay tres opciones, pulsamos en create vectors (imagen 45 b, c), en esa ventana ponemos dirección del vuelo, pulsamos speed, en la ventana (imagen 45 d) chequeamos la velocidad y damos OK. Cuando se termina todo pulsamos guardar los macros, los macros se van a guardar en el formato tif, este proceso tarda un tiempo. Si queremos crear un video de la ruta directamente, guardamos como película, la película se va a guardar en el formato avi. Creamos un video desde los macros, pulsamos el botón create movie from frames () , importamos los macros que han creado y editamos, para crear el video, pulsamos guardar, ponemos la velocidad del macro y damos OK. Imagen 45 muestra los elementos para crear un video, imagen 46 muestra un macro del video.



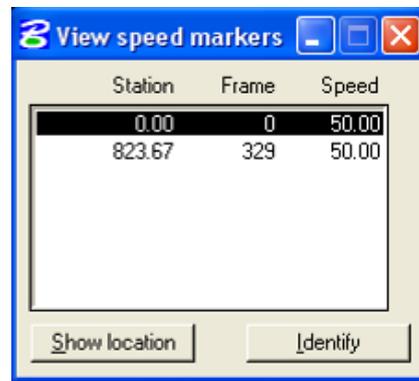
(a)



(b)



(c)



(d)

Imagen 45: Los elementos de crear el video



Imagen 46: Un macro del video

4.5 Conclusión

En este capítulo se ha presentado el método de reconstrucción del edificio a partir de los datos LiDAR, en la parte de la práctica en TerraSolid, se ha presentado la vectorización del edificio, detectar arboles, triangular la ortofoto y crear un video del vuelo virtual. La zona de estudio es una zona urbana, por eso hay muchos viviendas y edificios comerciales, en este trabajo la vectorización del edificio es lo más importante, requiere una buena clasificación de la nube de puntos. La calidad de la ortofoto afecta la calidad del producto 3D, por eso también se requiere una ortofoto de buena calidad.

Capítulo 5 Conclusiones

En este proyecto se ha presentado la generación de una ciudad 3D a partir de los datos LiDAR con el programa TerraSolid, en este proyecto lo más importante trabajo es clasificar bien las nubes de puntos, para a posteriori la reconstrucción del edificio y la triangulación del ortofoto.

El primero se ha explicado el sistema LiDAR y las principales características de los datos LiDAR, basado en las características geométricas y las propiedades de los puntos, se ha desarrollado un método de la clasificación conveniente y válido a la zona urbana y clasificado en TerraSolid.

El segundo se ha explicado la reconstrucción del edificio, la vectorización del edificio en el programa es automáticamente, se afecta con la extracción del edificio, por eso la clasificación sea muy buena. Los elementos de la ciudad 3D son los edificios, los árboles, los vehículos, y la superficie del terreno. El programa TerraSolid tiene capacidad de modelizar los edificios, detectar los árboles, triangular el terreno automáticamente. Además el programa combina con el ortofoto, se pega la textura al edificio y al terreno desde el ortofoto, por eso la ciudad 3D se parece como la ciudad real. Pero la deficiencia de la programa es sólo añade el modelo del árbol, otros modelos, por ejemplo el programa no reconoce el modelo del coche, ni el modelo de la humana.

Crear una ciudad 3D es un trabajo muy completo, requiere el conocimiento de los datos LiDAR avanzado, la clasificación, la reconstrucción de edificio, y la generación del DEM, además generar un

ortofoto, aunque en este proyecto no se ha trabajado en el campo de la generación del ortofoto, este proceso también es muy importante.

Mediante este proyecto, me he aumentado el conocimiento del sistema LiDAR, y manejado el programa TerraSolid.

Bibliografía

- [1] Javier Arellano Sánchez, Geóg. José Víctor Chávez García Ing. Juan Javier Durón Díaz . Línea de producción LiDAR.
- [2] María del Pilar Legarrea Molina. El rayo láser en geografía.
- [3] Harald Steiner, Paul Quackenbush and Brad Hlasny. Quality Control Of LiDAR Data Using Spatially Oriented LiDAR Targets.
- [4] George Sithole, George Vosselman,2004. Experimental Comparison of Filter Algorithms for Bare-earth Extraction from Airborne Laser Scanning Points Clouds-ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing 59(2004)85-101
- [5] Andrej Kobler, Norbert Pfeifer, Peter Ogrinc, Ljupco Todorovski,Kristof Ostir, Saso dzeroski,2006. Repetitive interpolation: A robust Algorithms for DTM Generation from Aerial Laser Scanning Data in Forested Terrain, Remote Sensing of Environment 108(2007)9-23
- [6] Jingjue Jing , Ying Ming ,2006. Classification and Filtering of Lidar Points Clouds for DTM Generation.
- [7] Qihong Zheng, 2009. Procesamientos de los Datos Lidar Aéreo y Reconstrucción de los Edificios-
- [8] Peter Axellon, 1998. Processing of Laser Scanner Data –Algorithms and Applications, ISPRS Journal Photogrammetry and remote sensing 54(1999) 138-147
- [9] Peter Axellon, 2000. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B4. Amsterdam 2000.
- [10] Txomin Hermosilla, Luis Ángel Ruiz. Detección Automática de Edificios Combinando Imágenes de Satélite y Datoslidar

- [11] K.Kraous, N.Pfeifer,1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data, ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing 53(1998)193-203
- [12] Anthony thorpe, 2001. Surface Estimation Based on lidar-wolfgang schckler, Processings of the ASPRS Annual Conference.St.Louis,Missouri,April 2001
- [13] Jingnan liu, Xiaodong Xu, Xiaohong Zhang, Shilai Cheng, 2008. FilteringLayer Iterative Selection of the Airborne Laser Scanning Altimetry Data and Quality Evaluation, Geomatics and Information Science of Wuhan University vol.33 NO.6 June 2008
- [14] Claus Brenner, 2004. Building Reconstruction from Images and Laser Scanning,International Journal of Applied Earth Observatio and Geoinformation 6 (2005) 187–198
- [15] Interpretation of Urban Surface Models Using 2D Building Information-Norbert Haala and Claus Brenner-1998
- [16] Hiroshi Masaharu, Hiroyuki Hasegawa,2000. Three-dimensional City Modeling from Laser Scanner Data by Extracting Building Polygons Using Region Segmentation Method, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B3. Amsterdam 2000.
- [17] Vosselman, G., Dijkman, S., 2001. 3D building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans. In: Hofton, M.A. (Ed.), Proceedings of the ISPRS Workshop on Land Surface Mapping and Characterization Using Laser Altimetry, vol. XXXIV, Part 3/W4, Commission III, Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing, Annapolis, MD, pp. 37–44.

[18] DEM Generation from LiDAR Data and Estimation of the Quality-used Test Tata of ISPRS, 2006. ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing, Vol.11 NO.1 March 2006, pp.11-12

[19] TerraScan User's Guide, TerraPhoto User's Guide, TerraModeler User's Guide, TerraMatch User's Guide.

[20] Diego González Aguilera, PROCESAMIENTO DE DATOS LIDAR

[21] Juan Antonio del Val Riaño FUNDAMENTOS DE NAVEGACIÓN INERCIAL INTEGRACIÓN DE SENSORES (GPS + INS + CÁMARA/ LIDAR/RADAR)

Índice de Imágenes

Imagen 1: El sistema LiDAR

Imagen 2 LiDAR Geo-Referencia

Imagen 3: Un pulso de láser genera múltiple ecos

Imagen 4: Una zona urbana

Imagen 5: Proporción de la luz

Imagen 6: Zona del estudio

Imagen 7: La trayectoria del proyecto

Imagen 8: Importar las nubes de puntos al proyecto

Imagen 9: Los umbrales de clasificación al terreno en TerraSolid

Imagen 10: Find match

Imagen 11: Apply corrections

Imagen 12: Find fluctuations

Imagen 13: Macro de Cut Overlap

Imagen 14: El resultado de cortar el solape

Imagen 15: La superficie TIN conectado con los datos LiDAR

Imagen 16: Los parámetros umbrales

Imagen 17: Cortar los bordes

Imagen18: Los parámetros umbrales del algoritmo basado en el pendiente de los puntos

Imagen 19: El esquema de la clasificación de los datos LiDAR en TerraSolid

Imagen 20: Macro del terreno

Imagen 21: El resultado de clasificación del terreno.

Imagen 22: Macro de la clasificación en altura

Imagen 23: Clasificación de la vegetación

Imagen 24: Macro de clasificar los edificios

Imagen 25: Primera vez de la clasificación del edificio

Imagen 26: Segunda vez de la clasificación del edificio

Imagen 27: Macro de clasificar la intensidad

Imagen 28: Clasificación de la carretera

Imagen 29: El resultado de clasificación en la vista del modo isométrica

Imagen 30: La ventana de importar la ortofoto

Imagen 31: Comparación de la clasificación automática y manual

Imagen 32: Clasificación final

Imagen 33: El modelo del edificio

Imagen 34: Ajuste del modelo de edificio

Imagen 35: Vectorización de los edificios

Imagen 36: Visualización del modelo del edificio en render

Imagen 37: Los edificios con sus texturas

Imagen 38: Edición del árbol

Imagen 39: La ventana de detectar los árboles

Imagen 40: La ventana de añadir el modelo del árbol

Imagen 41: El resultado de detectar los árboles

Imagen 42: Crear un model editable

Imagen 43: La ventana de triangular el ortofoto

Imagen 44: El resultado de la ciudad 3D

Imagen 45: Los elementos de crear el video

Imagen 46: Un macro del video

Agradecimiento

En el primer lugar quiero decir gracias a tutor, Diego González Aguilera, muy agradecido por su consejos. Muy gracias a la universidad de Salamanca, la politécnica superior de ávila, me han dejado los materiales del proyecto, el programa TerraSOLID y el laboratorio del master a realizar mi proyecto.

Quiero decir muchas gracias a mis padres, gracias que me permiten estudiar en España, me han dado buenos ambientes a estudiar mi máster.

El último gracias a mis compañeros de mi master, gracias a mireia me ha corregido los errores de la memoria, gracias a raul y jorge me acompañan a hacer master por sus consejos y sus opiniones.

Songyan Jin
29 JUNIO de 2010