



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
DISPOSITIVO DE APOYO PARA LA
MOVILIDAD DE PERSONAS NO VIDENTES
USANDO EL SENSOR DE MOVIMIENTO ASUS
XTION PRO LIVE Y TECNOLOGÍA
BEAGLEBONE BLACK BAJO SOFTWARE
LIBRE ”.

Patricia Alejandra Mayorga López
Dussan Romario Defaz Chango



OBJETIVO GENERAL

“ DISEÑAR E IMPLEMENTAR UN DISPOSITIVO DE APOYO PARA LA MOVILIDAD DE PERSONAS NO VIDENTES USANDO EL SENSOR DE MOVIMIENTO ASUS XTION PRO LIVE Y TECNOLOGÍA BEAGLEBONE BLACK BAJO SOFTWARE LIBRE ”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comprender cuáles son los principales problemas que presenta una persona con discapacidad visual para moverse de manera segura y adecuada de un lugar a otro.

Investigar y comprender cuál es el funcionamiento del sensor de movimiento ASUS XTION PRO LIVE.

Consultar cómo funciona la mini computadora BEAGLEBONE BLACK.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Implementar un dispositivo para detección de obstáculos en la trayectoria de las personas no videntes mediante procesamiento de imágenes para apoyo de su movilidad.

Realizar pruebas para determinar el correcto funcionamiento del dispositivo para detección de obstáculos en tiempo real y su eficiencia para informar al usuario de la presencia de los mismos.

Realizar un análisis de los resultados obtenidos de las pruebas para determinar el correcto funcionamiento del dispositivo y en caso de ser necesario ejecutar ajustes, calibración y mejoras necesarias en el prototipo para asegurar su adecuado funcionamiento.



RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como propósito el diseño e implementación de un sistema de apoyo para la movilidad de personas no videntes

La recepción de imágenes se realiza a través de la cámara del ASUS XTION PRO LIVE y los datos recibidos son enviados y procesados en el microprocesador BEAGLEBONE BLACK, mediante el programa POINT CLOUD LIBRARY, permitiendo determinar la presencia y la ubicación de obstáculo.

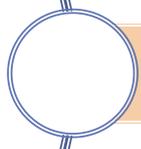
Para la interfaz con el usuario se utiliza una salida auditiva, que permite indicar la presencia de obstáculos y la indicación del posible camino a tomar para evadirlos



ÍNDICE



Tarjeta BeagleBone Black.



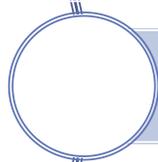
Cámara ASUS XTION PRO LIVE.



Point Cloud Library



Diseño e Implementación del dispositivo.



Conclusiones



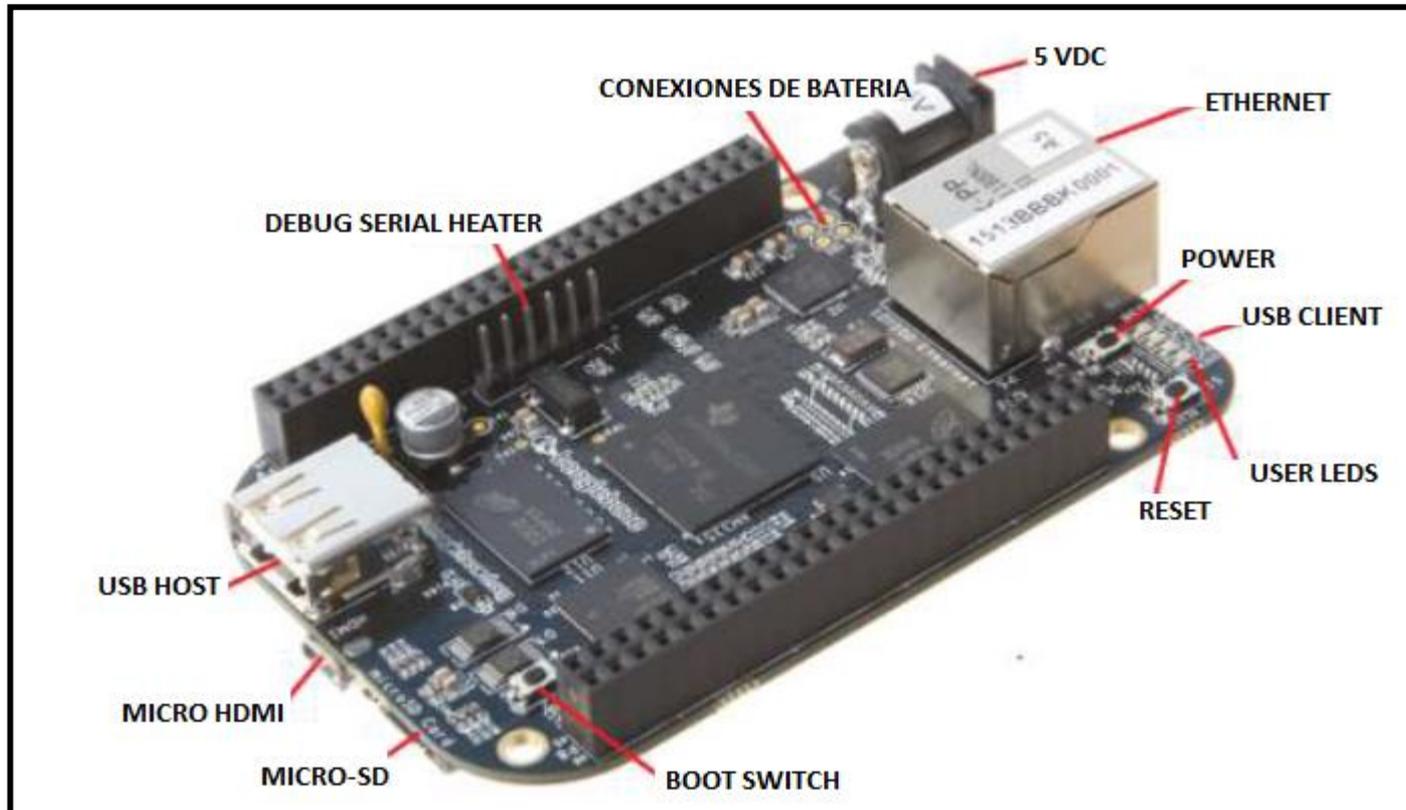
Recomendaciones



Tarjeta BeagleBone Black

- BeagleBone Black fue diseñada por Gerald Coley.
- De la familia BagleBoneBoard.org diseñada con un procesador ARM Cortex-A8.
- BeagleBone Black es una tarjeta de desarrollo de bajo costo, para desarrolladores y aficionados.
- Permite manejarse con Linux o Windows con solo una conexión a través de un cable USB.

Elementos de la tarjeta BEAGLEBONE BLACK



MENÚ



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Formas de conexión de la tarjeta BBB

1. Escritorio independiente



- 1 fuente de poder de 5VDC
- Monitor HDMI
- 1 cable HDMI
- 1 teclado y un mouse.

2. Conexión a una PC mediante el cable USB

- La tarjeta es alimentada por la computadora a través del cable USB.
- Se accede a ella como una unidad de almacenamiento USB a través del navegador.
- Acceso a la tarjeta como una unidad de almacenamiento.
- Conexión independiente Ethernet .

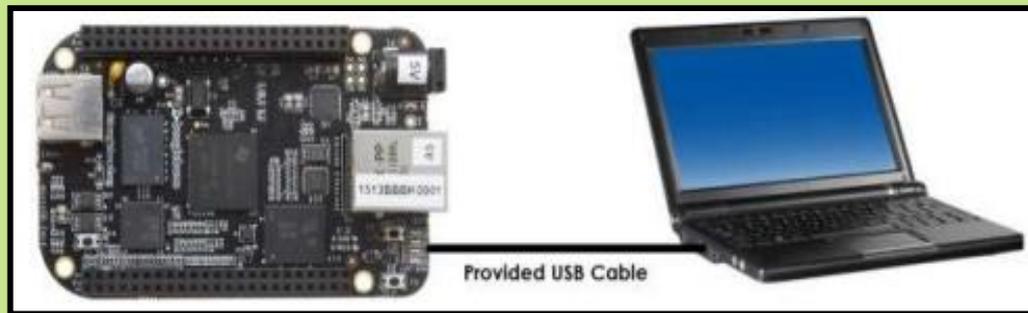


Figura 2 Conexión de la tarjeta BeagleBone Black a una PC mediante el cable USB.

Asus Xtion Pro Live



Asus Xtion Pro Live

- Xtion Pro Live permite crear nuevas aplicaciones para juegos, industria, educación, medicina, etc.
- Es totalmente abierto, facilita el manejo de aplicaciones basadas en movimiento, es simple e intuitivo.
- Incluye un puerto USB y es compatible con OpenNI NiTE que es uno de los más robustos y avanzados software para visión 3D por computadora.
- Utiliza un sensor infrarrojo para la detección de la profundidad, el color y sonido que permite percibir los movimientos del usuario en tiempo real.

Especificaciones de Asus Xtion Pro Live

- La tecnología utilizada por Asus Xtion Pro Live no se centra solo en la posición del objeto, sino también en la detección y codificación de los haces de luz reflejada por los objetos.
- Para obtener los datos de profundidad, el sensor emite un patrón infrarrojo conocido como el que se muestra en la figura, y para calcular la distancia de cada punto mide la deformación de los puntos que componen esa malla



Figura 19 Malla de puntos infrarrojo

Limitaciones de Asus Xtion Pro Live

- El sensor Asus Xtion Pro Live tiene limitaciones en cuanto a la lectura de la profundidad debido a factores como la construcción de la cámara y condiciones propias del medio a trabajar.
- Los rayos emitidos por el sensor en objetos a cortas distancias tienden a retornar valores muy similares, en el caso de objetos a largas distancias no retornan valores.
- Además, los valores retornados pueden ser nans que son resultados imposibles de calcular.

Point Cloud Library

- Este proyecto iniciado en el 2010 por Willow Garage.
- PCL integra el uso de sensores 3D, permitiendo no solo el reconocimiento de objetos sino la determinación de parámetros como distancia y movimiento en tiempo real.
- PCL es una de las soluciones para el procesamiento 3D, es una librería multiplataforma de software abierto que permite recibir información de sensores como Asus y se divide en submódulos para diferentes tópicos, como filtros, visualización, segmentación, registro, búsqueda, estimación, etc.

Nube de puntos

- Una nube de puntos es una estructura de datos utilizada para representar una colección de puntos multidimensionales y se utiliza comúnmente para representar los datos en tres dimensiones. En una nube de puntos 3D, los puntos por lo general representan los ejes X, Y y Z coordenadas geométricas de una superficie muestreada subyacente. Cuando la información de color está presente (ver la figura 13), la nube de puntos se convierte en 4D.

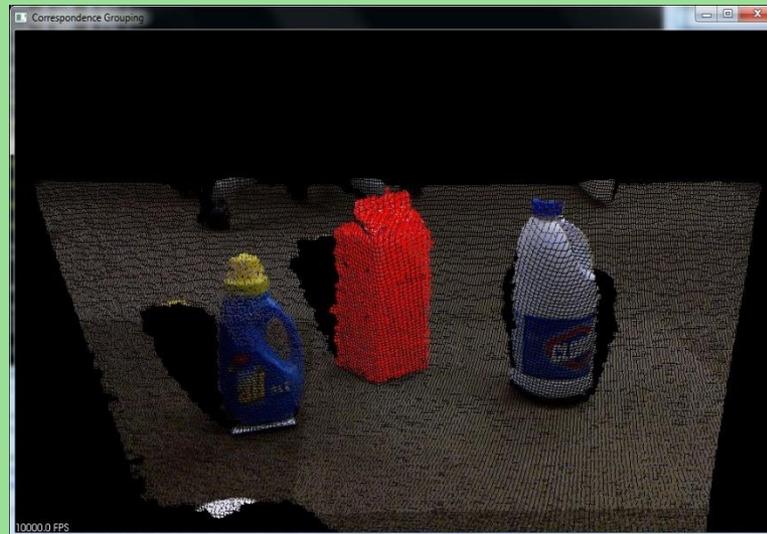


Figura 13 Nube de puntos

Diseño e implementación del dispositivo

MENÚ

Consideraciones de diseño

- Para realizar el programa bajo el cual funcionará el dispositivo, se tendrán en cuenta varias consideraciones previas como:
 - El rango de visión
 - La altura promedio a la cual se encontrará el sensor Asus Xtion Pro Live.
 - El ambiente de prueba.

Sistema de coordenadas del sensor

Eje X: Ancho del rango de visión (izquierda (-) a derecha (+)).
Eje Y: Altura del rango de visión (abajo (+) hacia arriba (-)).
Eje Z: Profundidad del campo de visión (origen (0) hacia atrás (+)).

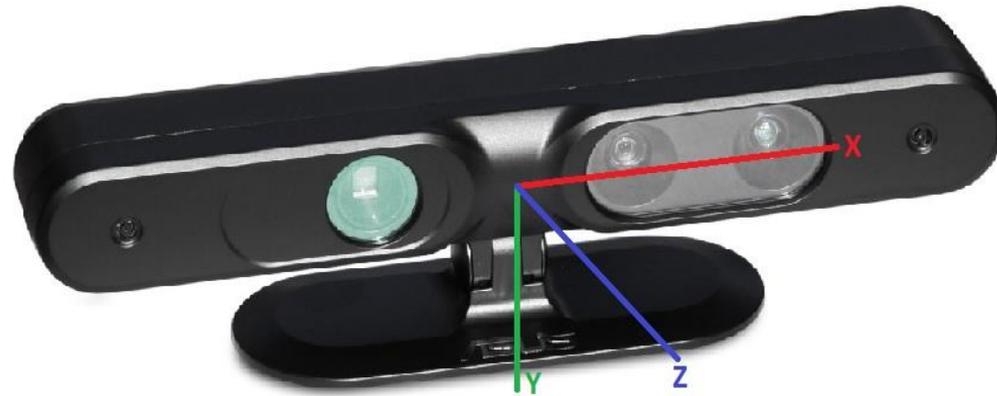


Figura 42 Sistemas de coordenadas del sensor

Consideraciones del campo de visión

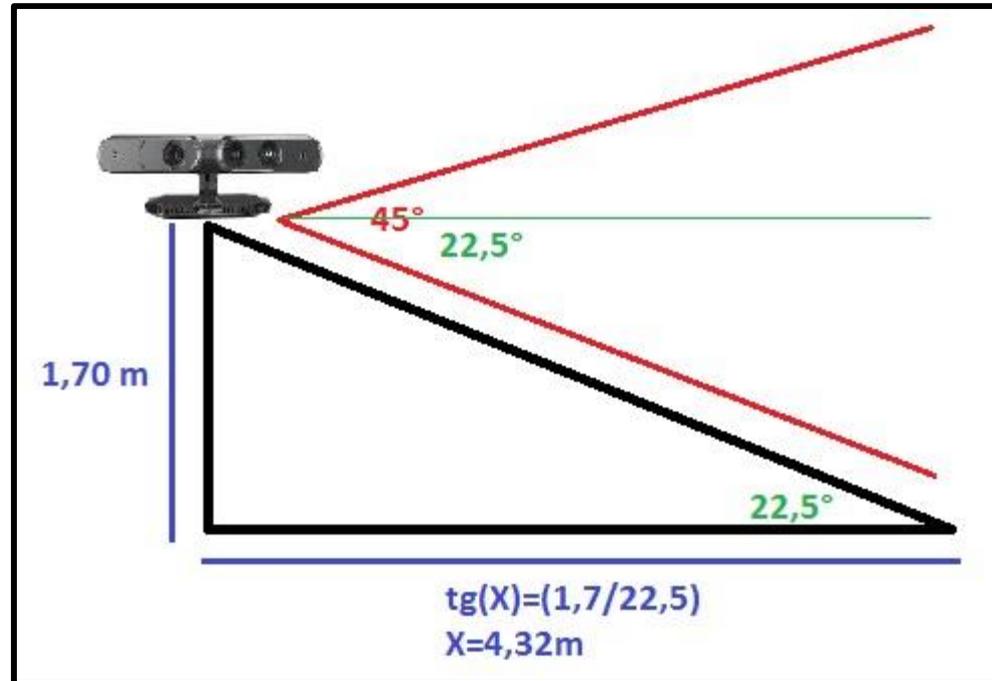


Figura 43 Campo de visión con ASUS a 1.7 m del suelo.

Diagrama de flujo de la programación

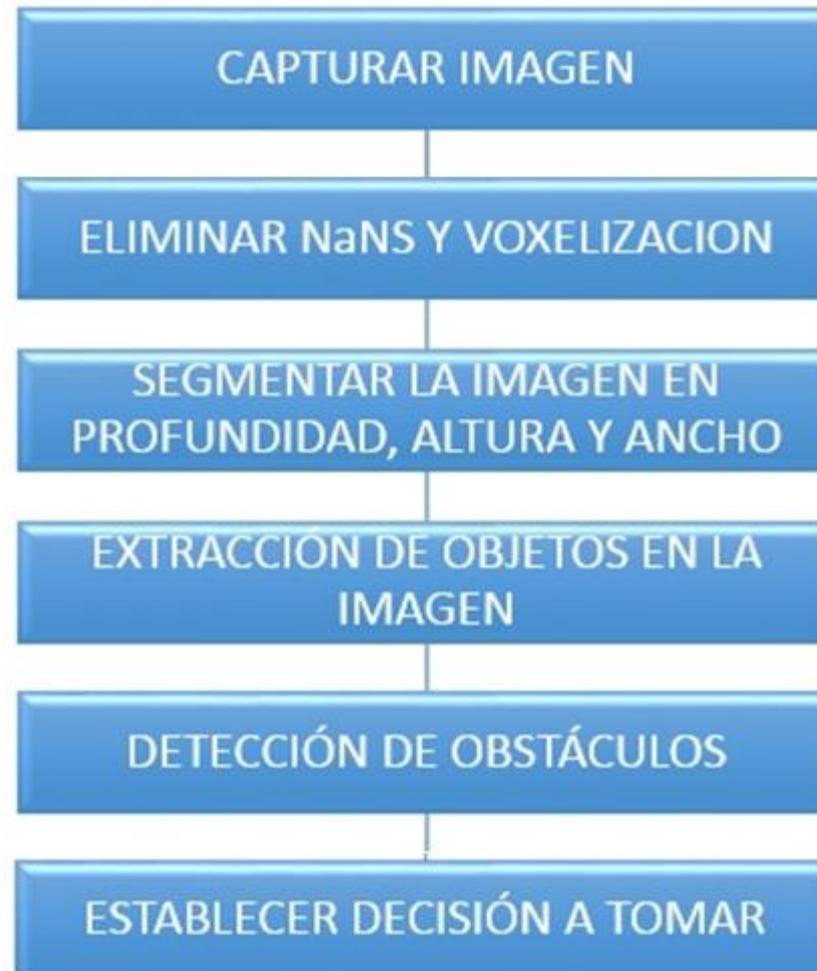


Figura 1. Diagrama de flujo

Captura de la imagen

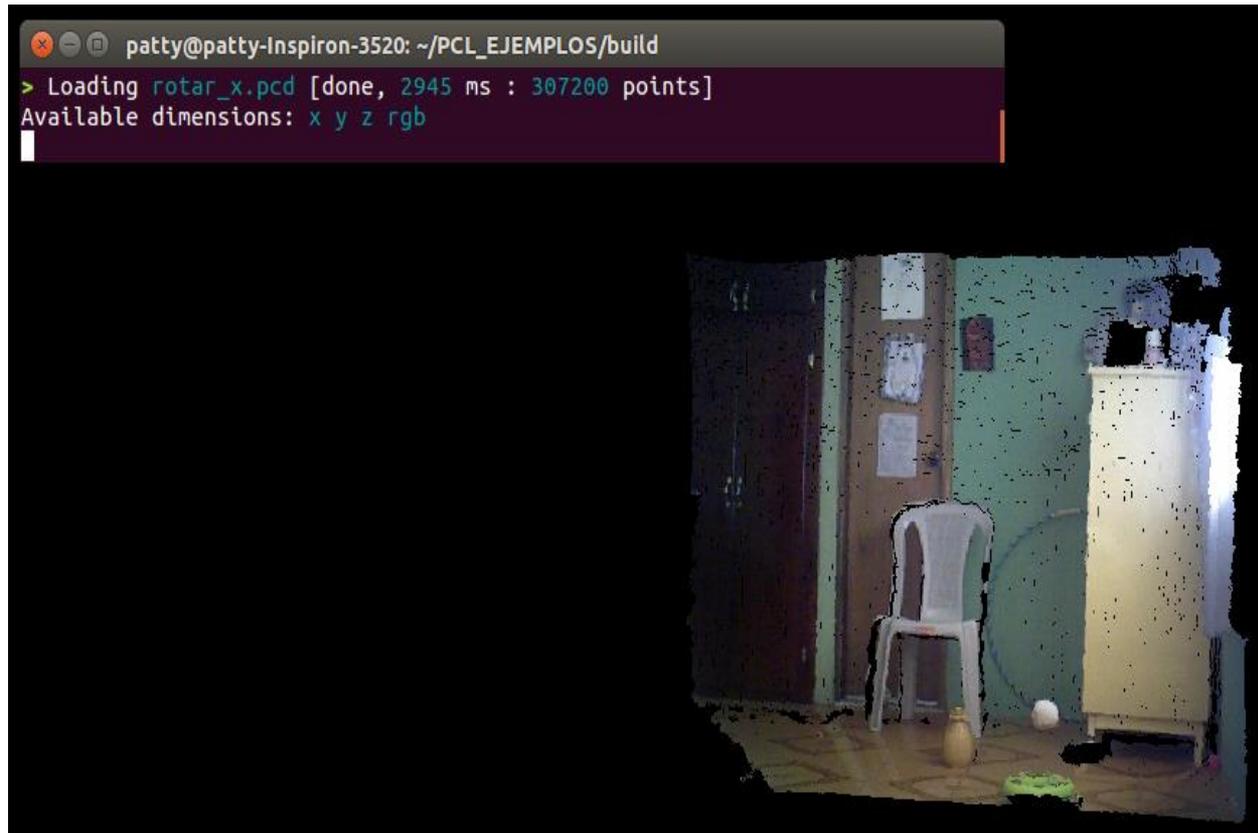


Figura 47 Imagen capturada por ASUS XTION PRO LIVE

Optimización de la imagen

IMAGEN ORIGINAL CAPTURADO CON ASUS XTIO PRO LIVE



```
> Loading inputCloud5.pcd [done, 141 ms : 307200 points]  
Available dimensions: x y z rgba
```

MENÚ

Optimización de la imagen

- Eliminación de NaNs



Figura 49 Imagen sin Nans

```
> Loading nube_nan.pcd [done, 2716 ms : 264734 points]  
Available dimensions: x y z rgb
```

- Downsampling



Figura 49 Efecto downsampling

```
> Loading cloud5_downsampled.pcd [done, 931 ms : 94007 points]  
Available dimensions: x y z rgba
```

Segmentación en profundidad: eje Z

- Imagen original



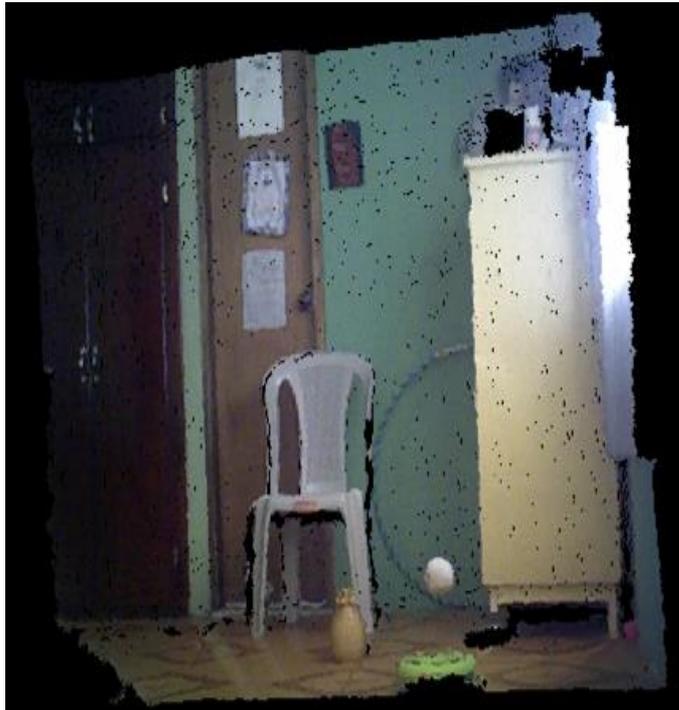
- Imagen segmentada en profundidad a 1.60 m



`filter.setFilterLimits(0.8, 1.60)`

Segmentación en altura: eje Y

- Imagen original



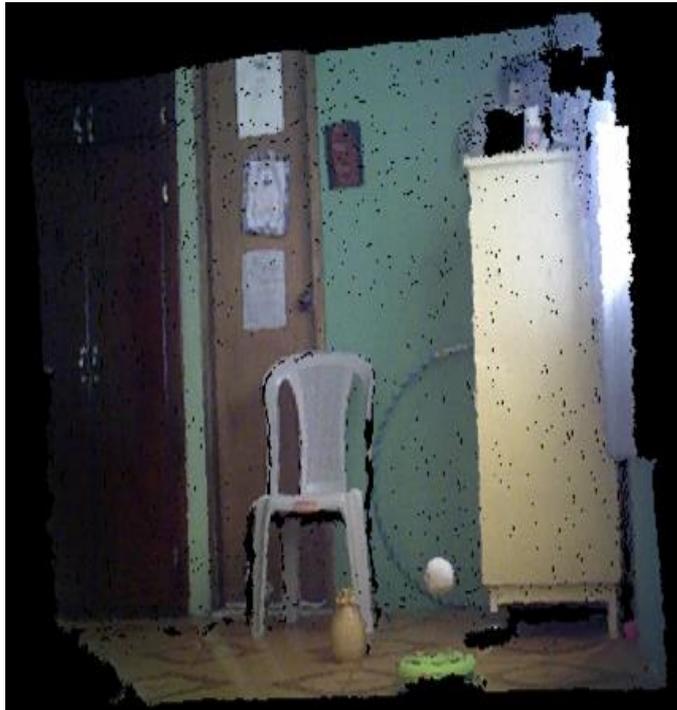
- Imagen segmentada en altura



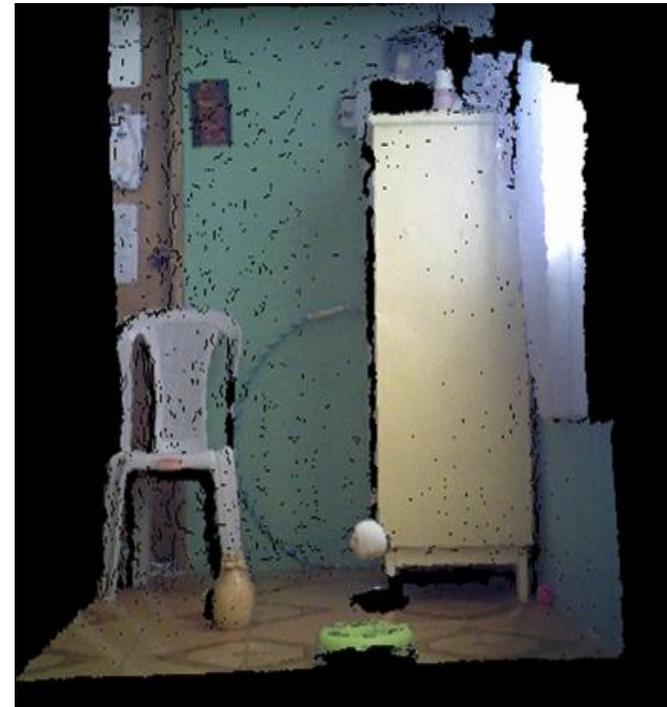
```
filter.setFilterLimits(-0.2,0.9);
```

Segmentación en el eje X

- Imagen original



- Imagen segmentada en x



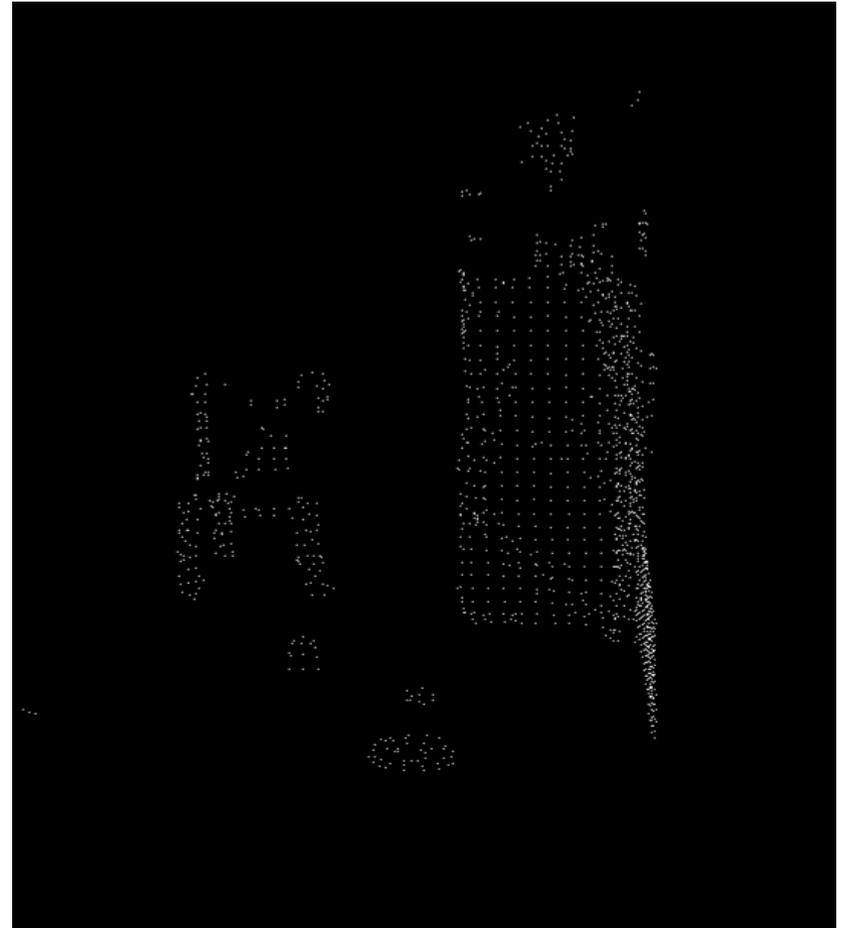
`filter.setFilterLimits [-0.8 a 0.8 m];`

Extracción de objetos en la imagen

- Imagen original



- Imagen aplicado SACSegmentation

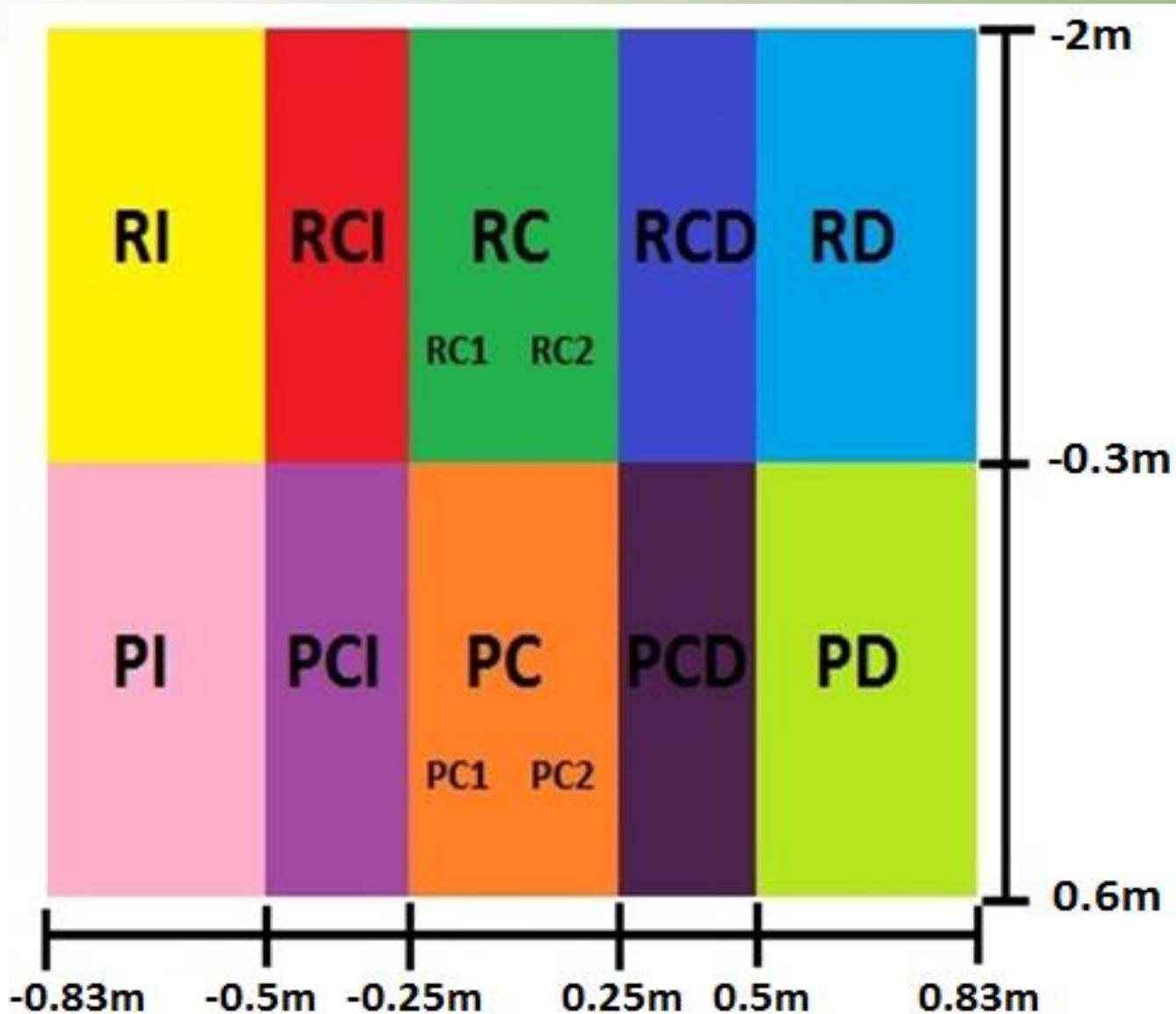


Seccionamiento de la imagen

Cada una de las imágenes para su procesamiento es dividida en las siguientes secciones:

- Rótulos elevados al lado izquierdo (RI)
- Rótulos elevados en la parte central izquierda (RCI)
- Rótulos elevados en la parte central (RC)
- Rótulos elevados en la parte central 1 (RC1)
- Rótulos elevados en la parte central 2 (RC2)
- Rótulos elevados en la parte central derecha (RCD)
- Rótulos elevados a la derecha (RD)
- Obstáculos localizados en el piso al lado izquierdo (PI)
- Obstáculos localizados en el piso en la parte central izquierda (PCI)
- Obstáculos localizados en el piso en la parte central (PC)
- Obstáculos localizados en el piso en la parte central 1 (PC1)
- Obstáculos localizados en el piso en la parte central 2 (PC2)
- Obstáculos localizados en el piso en la parte central derecha (PCD)
- Obstáculos localizados en el piso a la derecha (PD)

Seccionamiento de la imagen

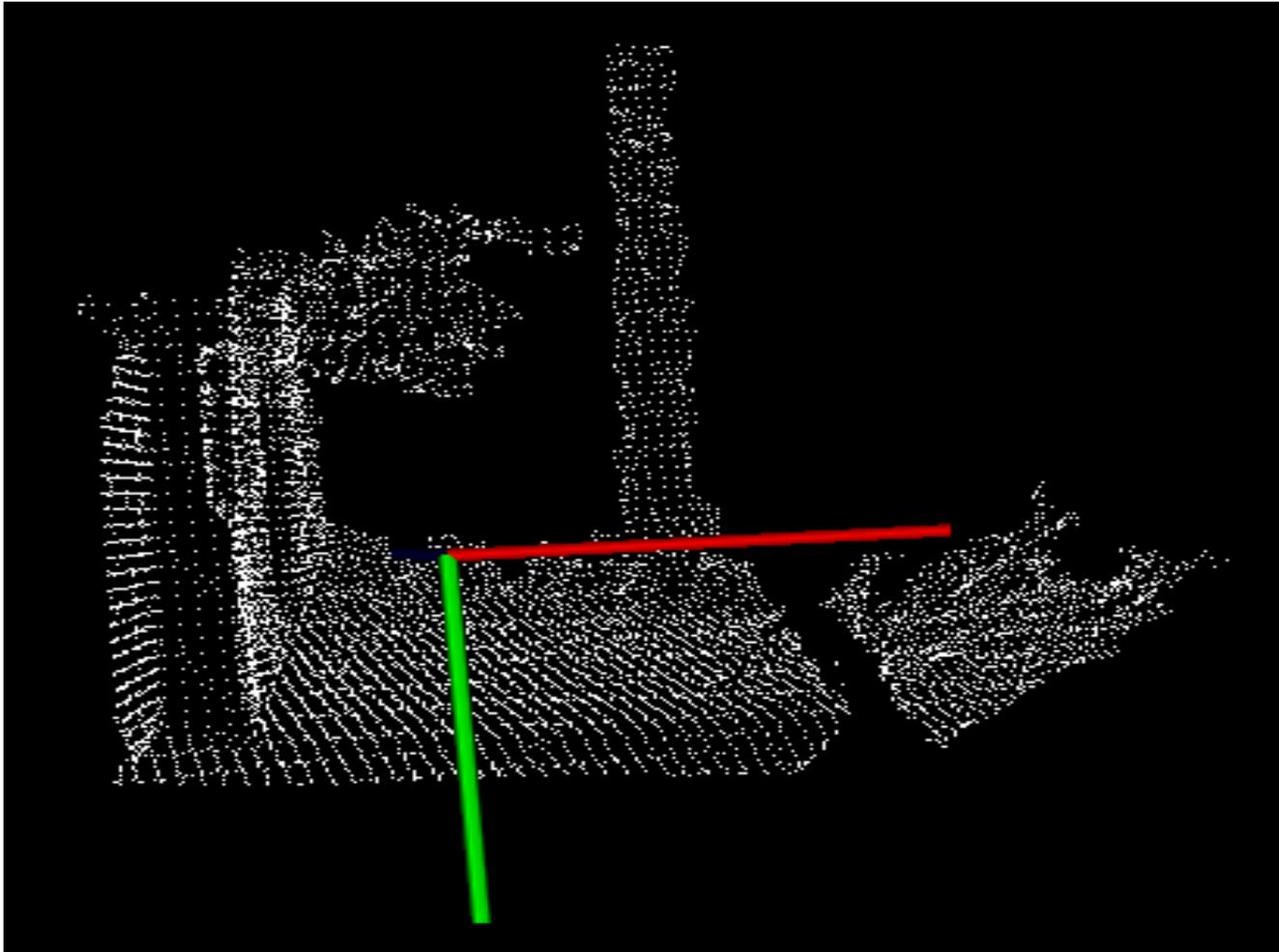


MENÚ



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Seccionamiento de la imagen

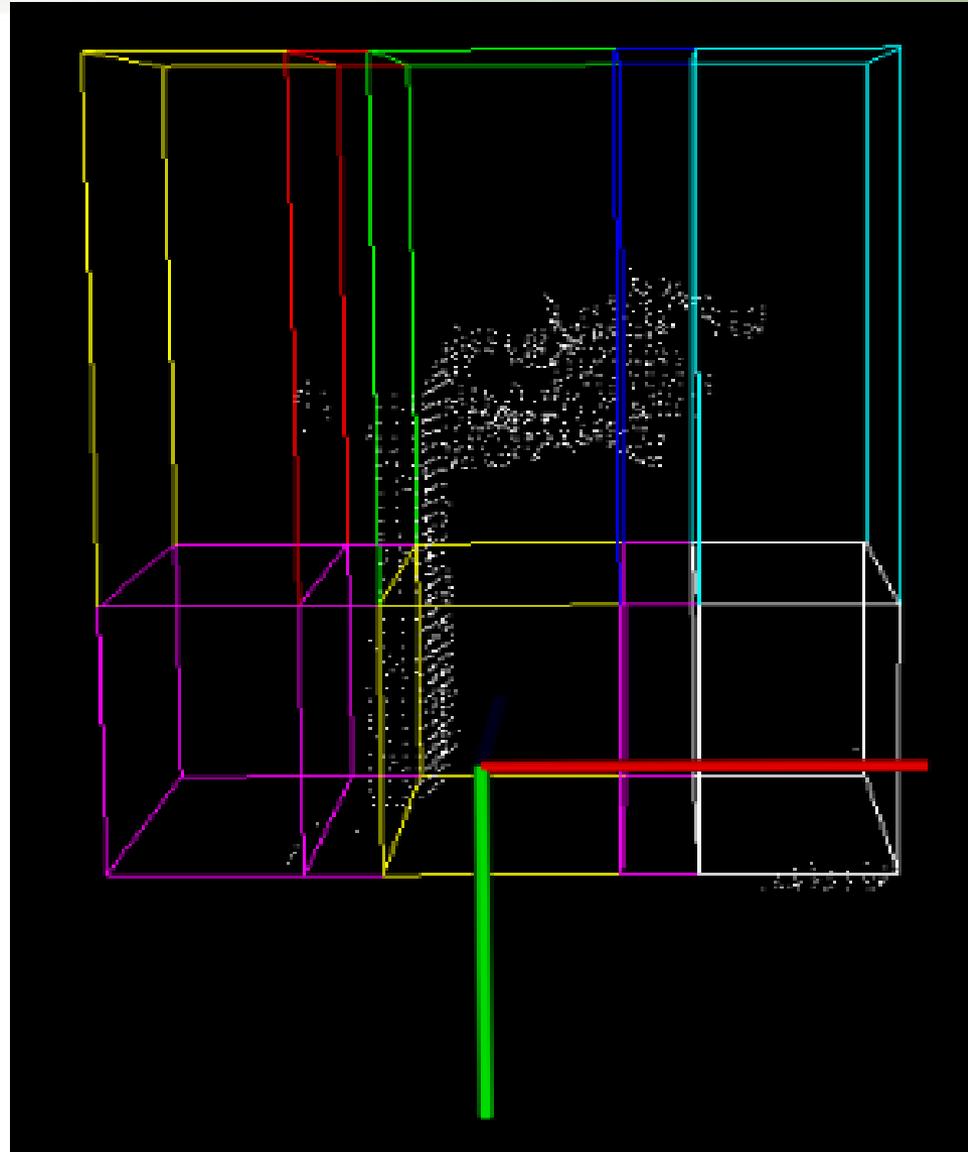


MENÚ



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Seccionamiento de la imagen



MENÚ



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Indicaciones de posibles acciones a tomar ante la presencia de obstáculos

- El algoritmo desarrollado presenta resultados en forma visual y auditiva, para la salida auditiva se emplea la tarjeta de sonido 7.1 Channel Sound (figura 58) y se la configura para su reconocimiento en la BeagleBone Black, además de un par de audífonos como interfaz con el usuario, se cuenta con cuatro tonos a diferente frecuencia y duración para distinguir cada una de las salidas de respuesta.



Figura 58 Channel Sound 7.1

Indicaciones de posibles acciones a tomar ante la presencia de obstáculos

INDICACIÓN	
Siga caminando	
Obstrucción total	
Vaya hacia la derecha	
Vaya hacia la izquierda	

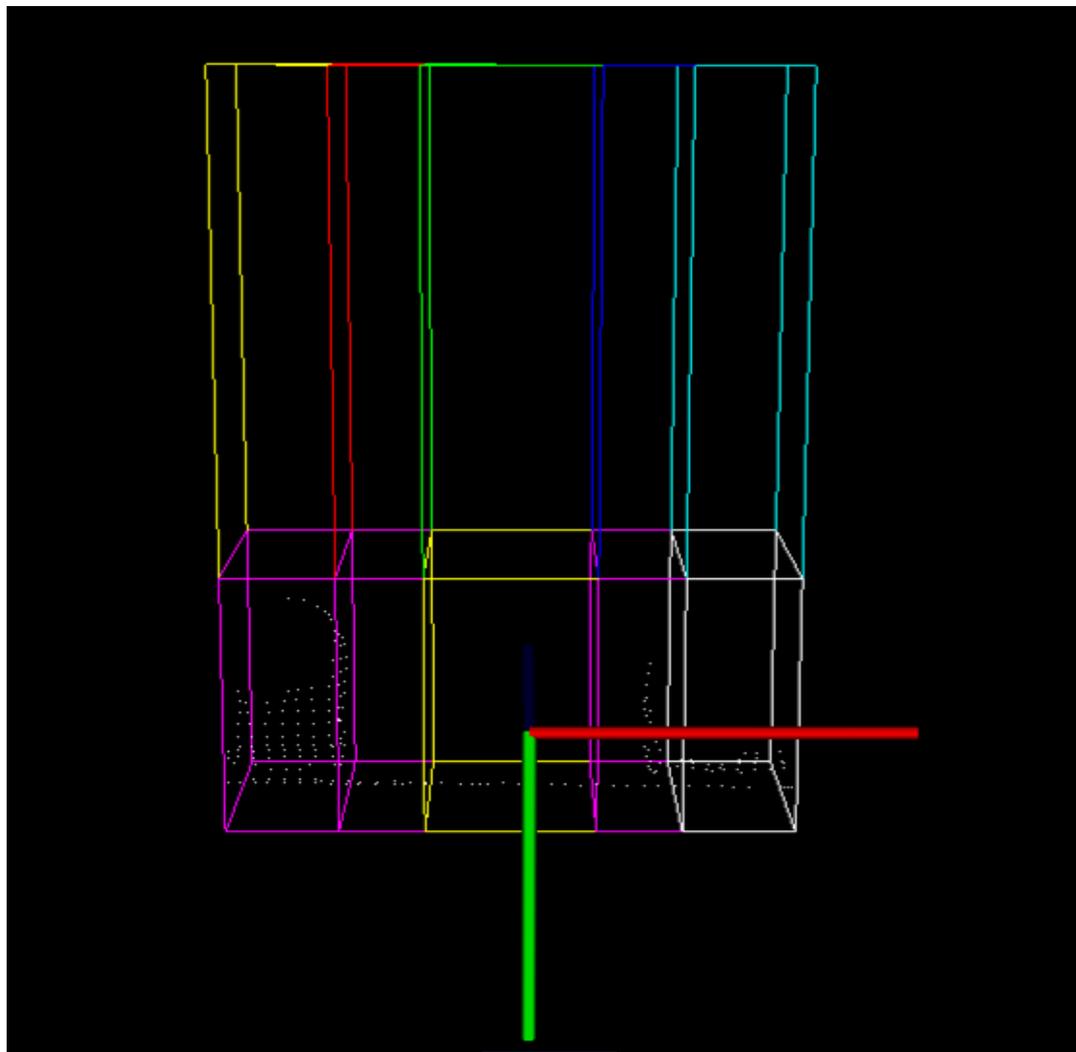
TABLA 10 Indicaciones de posibles acciones a tomar ante la presencia de obstáculos.

Indicaciones de posibles acciones a tomar ante la presencia de obstáculos

- En la figura 59 se observa la imagen a procesar capturada con el sensor Asus Xtion Pro Live en Point Cloud Library, mientras que la imagen obtenida después del procesamiento de la misma se muestra en la figura 60 con las secciones en las que se divide la imagen para determinar la presencia de obstáculos.



Indicaciones de posibles acciones a tomar ante la presencia de obstáculos



MENÚ



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Indicaciones de posibles acciones a tomar ante la presencia de obstáculos

```
1 PointCloud before filtering: 367200 data points.
2 PointCloud after filtering: 16599 data points.
3 SIN ROTULOS A LA IZQUIERDA          RI=1
4 SIN ROTULOS CENTRO IZQUIERDA      RCI=1
5 SIN ROTULOS CENTRO                RC=1
6 SIN ROTULOS CENTRO UNO            RC1=1
7 SIN ROTULOS CENTRO DOS            RC2=1
8 SIN ROTULOS CENTRO DERECHA        RCD=1
9 SIN ROTULOS DERECHA              RD=1
10 OBSTACULOS PISO IZQUIERDA        PI=0
11 SIN OBSTACULOS PISO CENTRO IZQUIERDA PCI=1
12 SIN OBSTACULOS PISO CENTRO      PC=1
13 SIN OBSTACULOS PISO CENTRO uno  PC1=1
14 SIN OBSTACULOS PISO CENTRO dos  PC2=1
15 OBSTACULOS PISO CENTRO DERECHA  PCD=0
16 OBSTACULOS PISO DERECHA        PD=0
17 -----
18                               SELECCION DEL CAMINO
19 CAMINE NOMAS.....PASO LIBRE
20
21
```

Figura 61 Salida de respuesta escrita.

Pruebas

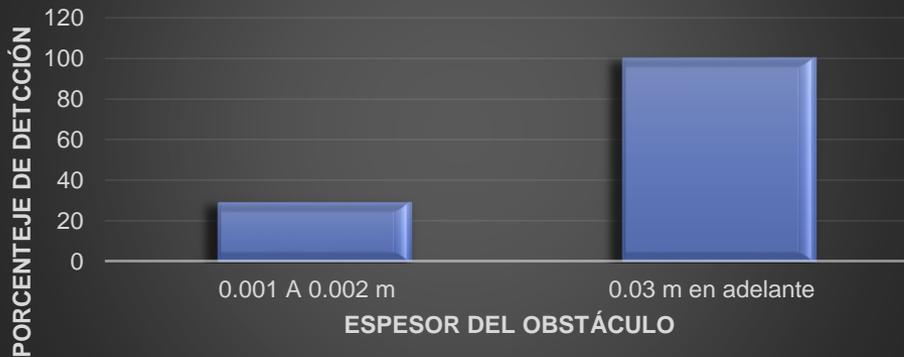
MENÚ

Nivel	Detalles
Excelente	Indica una detección aproximada del 85% al 100% del obstáculo.
Muy bueno	Indica una detección aproximada del 68% al 84% del obstáculo.
Bueno	Indica una detección aproximada del 48 % al 67% del obstáculo.
Malo	Indica una detección aproximada del 30 % al 47% del obstáculo.
Muy malo	Indica una detección aproximada del 16 % al 29% del obstáculo.
Nulo	Indica una detección aproximada del 0 % al 15% del obstáculo.

Tabla 13 Niveles de detección de obstáculos

Pruebas de detección de presencia de obstáculos

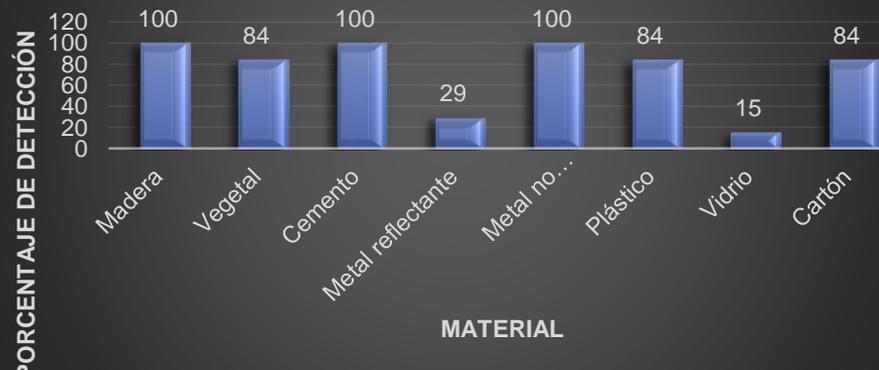
PORCENTAJE DE DE DETECCIÓN SEGÚN EL ESPESOR DEL OBSTÁCULO



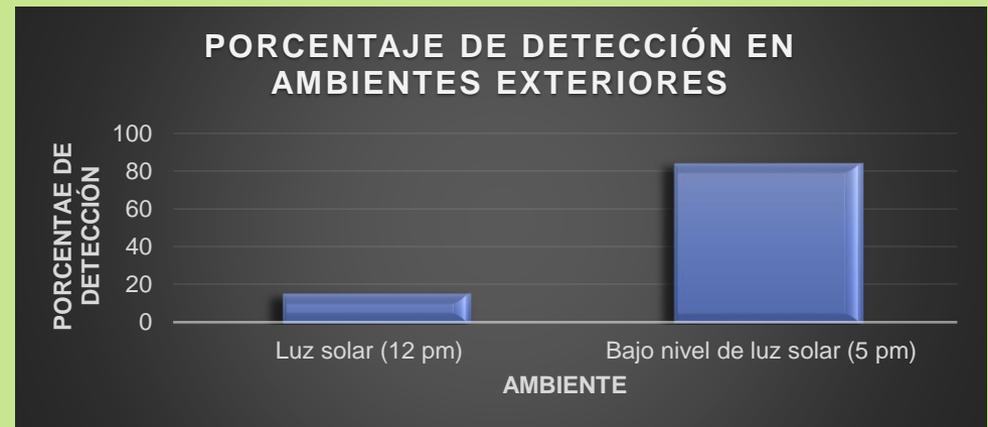
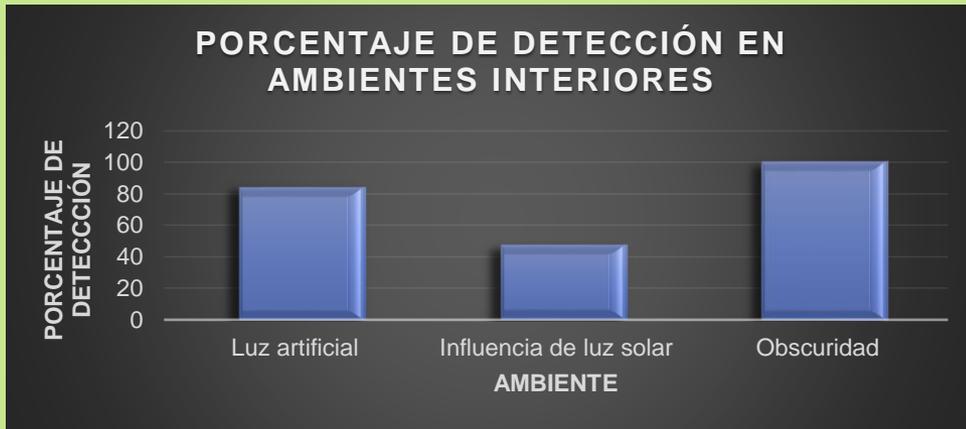
PORCENTAJE DE DE DETECCIÓN SEGÚN LA FORMA DEL OBSTÁCULO



PORCENTAJE DE DE DETECCIÓN SEGÚN EL MATERIAL DEL OBSTÁCULO



Pruebas de comportamiento del dispositivo ante diversos ambientes



MENÚ

Pruebas de comportamiento del dispositivo ante diversos ambientes

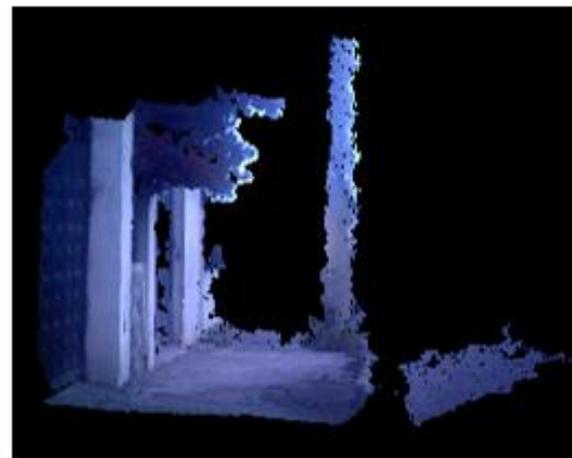
- *Ambientes exteriores a diferentes horas del día, y bajo influencia de luz solar y ausencia de luz.*

Pruebas con bajo nivel de luz (5 p.m)

Imagen 2D RGB



Imagen 3D capturada con Asus en PCL



Pruebas de comportamiento del dispositivo ante diversos ambientes

Extracción de obstáculos identificados



MENÚ



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Pruebas de comportamiento del dispositivo ante diversos ambientes

- *Ambientes exteriores a diferentes horas del día, y bajo influencia de luz solar.*



Pruebas de comportamiento del dispositivo ante diversos ambientes

Extracción de obstáculos identificados



MENÚ



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Resultados de pruebas de comportamiento del dispositivo ante diversos ambientes

De lo anteriormente expuesto se establece que el dispositivo puede ser utilizado con mayor eficiencia por personas con discapacidad visual moderada y la discapacidad visual grave que desde el punto de vista funcional, pueden considerarse como personas con “baja visión” puesto que poseen un resto visual suficiente para ver la luz, orientarse por ella y emplearla con propósitos funcionales durante el día, en tanto que el dispositivo ayudaría principalmente en casos de bajo nivel de luz que incrementa el riesgo de accidentes. Para personas con ceguera total el dispositivo puede servir como un dispositivo de entrenamiento y ayuda durante horarios específicos del día ya que una persona con ceguera no distingue en forma alguna la presencia a ausencia de luz.

BASTÓN

- **Ventajas**

- La cámara se mantiene en una posición fija a una altura ideal, lo que asegura una captura de las imágenes adecuada.
- Dependiendo del terreno se reducen las vibraciones que puede sufrir la cámara y que generan errores en la captura de imágenes.
- Se obtiene un amplio ángulo de visión desde el suelo hasta 1.7 m. aproximadamente, permitiendo la detección obstáculos bajos.

- **Desventajas**

- La persona que utiliza el bastón implementado, debe prescindir de su bastón habitual lo que repercute en la comodidad del mismo y puede generar confusión en la persona.
- El bastón sólo puede ser utilizado en superficies planas y con baja fricción.
- Si el terreno no es plano, se producirá vibraciones que afectan al dispositivo.



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO

PRUEBAS CON PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL				
Nombres	Obstáculos detectados	Obstáculos detectados (%)	Obstáculos no detectados	Obstáculos no detectados (%)
Molina William	9	69,23%	4	30,77%
Chicaiza Néstor	10	76,22%	3	23,08%
Jácome Segundo	11	84,61%	2	15,39%
López Rita	11	84,61%	2	15,39%
TOTAL	41	78,85%	11	21,15%

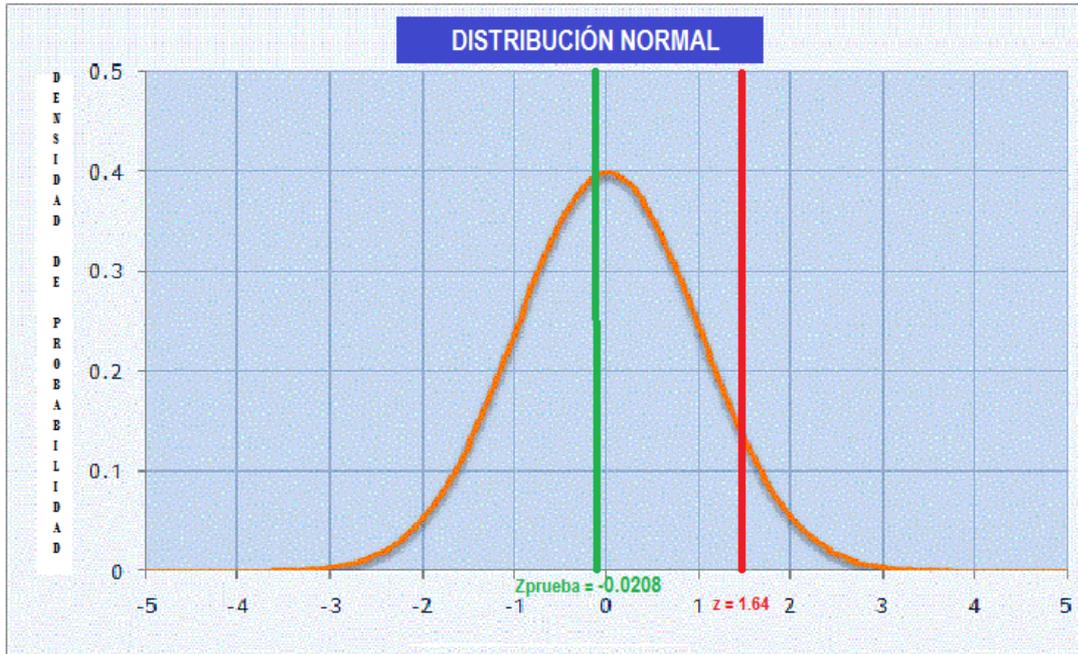
Tabla 40 Pruebas con personas con discapacidad visual

COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

¿El diseño e implementación de un dispositivo de apoyo para personas no videntes usando el sensor de movimiento ASUS XTION PRO LIVE y tecnología BEAGLEBONE BLACK bajo software libre ayudará a mejorar la movilidad de dichas personas y reducirá el riesgo de accidentes?

MENÚ

Prueba de proporciones de una muestra



$$Z_{prueba} = \frac{\frac{x}{n} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}}$$

La hipótesis es aceptada ya que Z de prueba = - 0.0208 es menor que $Z = 1.64$ de la tabla, por lo tanto el valor calculado de z se encuentra en la región de aceptación, por lo que la hipótesis es aceptada en el nivel 0.05 por lo que el sistema desarrollado apoya (lo que dice la hipótesis).

CONCLUSIONES

- El algoritmo desarrollado para la detección de obstáculos cumple con los requerimientos del dispositivo ya que identifica correctamente la presencia tanto de obstáculos a nivel del suelo y obstáculos levados como rótulos, cada uno de ellos en las diferentes áreas como son parte central, parte derecha y parte izquierda del camino, dando una salida confiable del posible camino a tomar en caso de presencia de obstáculos.
- El sensor Asus Xtion Pro Live proporciona imágenes bastante fiables en tres dimensiones del ambiente capturado, siempre y cuando su ambiente de trabajo sea bajo ciertas condiciones como bajo nivel de luz solar que afecta directamente a la recepción de la imagen, por falta de reflexión de la malla de puntos infrarrojos; mientras que para trabajar en ambientes con una cantidad nula o muy baja de luz, el dispositivo presenta una salida muy confiable, las imágenes adquiridas en la oscuridad detectan los obstáculos presentes en el ambiente con gran precisión.
- Asus Xtion Pro Live adquiere imágenes de los objetos sin importar la forma del mismo, pudiendo ser cuadrados, circulares, elípticos, triangulares o amorfos, sin embargo, si se ve afectado por el tamaño del mismo ya que si su altura es inferior a los 5 cm su detección no es fiable.

- La captura de imágenes y la detección de obstáculos dentro de ellas es fiable para objetos de casi cualquier material, como madera, plástico, cemento, piedra, metal no reflectante, objetos de carácter vegetal, cuero, cartón, cerámica, etc. sin embargo para materiales reflectantes, de vidrio o transparentes la detección es muy imprecisa o casi nula obteniendo errores en las salidas de decisión del algoritmo.
- El espesor de los objetos a detectar no influye en gran medida, ya que son detectados de forma fiable desde 1 cm de espesor en adelante, siempre y cuando se encuentren en el área de detección del sensor y su material corresponda a los señalados como detectables en el punto anterior.
- Los objetos son detectados independientemente de la profundidad o distancia a la que se hallan los objetos, manteniendo mayor fiabilidad a partir de una distancia superior a 0.80 m y menor a los 3.5 m que es el rango de operación de la cámara Asus Xtion Pro Live.

- Las secciones en las que se dividió la imagen para su análisis están en base a las dimensiones estimadas de una persona promedio 1.10 m aproximadamente y el área aproximada que ésta requeriría para su desplazamiento, que en este caso es de 0.6 m
- La detección de obstáculos está basada en la identificación de puntos dentro de las secciones de análisis que representan un impedimento para la circulación libre por dicha área, más no en la identificación de objetos específicos de forma individual.
- La salida de respuesta del dispositivo se considera lenta ya que le toma un promedio de 1.7 s el procesar la imagen y emitir una salida debido a las características propias de la tarjeta BeagleBone Black, como el tamaño de la memoria RAM, sin embargo, éste tiempo está dentro del considerado como aceptable para que la persona pueda asimilar la instrucción dada.

- El procesamiento de imágenes se desarrolló con Point Cloud Library, por ser un software libre que da la posibilidad de aprovechar la capacidad del sensor de adquirir imágenes en 3 dimensiones de los ambientes, además de librerías, clases, métodos y funciones precargadas que facilitan el análisis de dichas imágenes, además de una visualización realista del ambiente.
- La captura de imágenes requiere ser realizada bajo la menor variación de posicionamiento del sensor para mayor fiabilidad, pudiendo producirse salidas falsas por presencia de obstáculos inexistentes generados por la variación del mismo.
- La altura a la que se coloca el dispositivo de captura de imágenes influye directamente a la respuesta que el dispositivo presenta, y se debe tener en cuenta que la respuesta más acertada se logra a una altura de 0.60 m siempre y cuando no existan variaciones bruscas del mismo y el ambiente cumpla con las condiciones de luz adecuadas.
- Asus Xtion Pro Live presenta ciertas limitaciones de funcionamiento bajo determinadas condiciones ambientales no controlables como la presencia directa de luz solar, que impide la reflexión de la malla de rayos infrarrojos y por ende la detección de los obstáculos, sin embargo, hay que tener presente que mientras menor sea la cantidad de luz (artificial o solar) mejor es la respuesta obtenida.
- Point Cloud Library se convierte en una opción idónea para el procesamiento de imágenes en 3D adquiridas con sensores infrarrojos como Asus Xtion Pro Live y Kinect, que provienen de la misma familia, ya que permite aprovechar al máximo los datos obtenidos en cada nube de puntos y manipular esta información de forma fácil y didáctica.

RECOMENDACIONES

- El sensor Asus debe mantenerse a una altura aproximada de 0.60 m a nivel del suelo, en lo posible bajo condiciones de luz no excesivas, y considerando los rangos de funcionamiento propios especificados para asegurar su adecuado funcionamiento y una respuesta correcta del algoritmo.
- Para que la salida del algoritmo sea confiable se deben evitarse movimientos bruscos del sensor ya que este está desarrollado para condiciones rangos específicos de análisis.
- El dispositivo no debe aplicarse para detección de objetos como vidrio o plásticos transparentes que lo semejan, ya que el vidrio puede ser atravesado fácilmente por la luz infrarroja (radiación térmica). El cristal normal sólo puede reflejar los rayos ultravioletas, mientras que la radiación térmica puede atravesarlo sin apenas obstáculos.

- La configuración de Channel Audio es imprescindible para el adecuado funcionamiento del dispositivo, además los tiempos de retardo de la salida de audio afectan directamente al tiempo de respuesta del sistema.
- Considerar este proyecto como base para el desarrollo de otros proyectos de carácter similar basados en visión artificial como robots dentro de ambientes controlados pudiendo ser usados para evasión de obstáculos o detección de objetos específicos.
- BeagleBone Black presenta limitaciones para la conexión de varios dispositivos de USB, lo que imposibilita su uso para determinadas aplicaciones, se recomienda emplear una versión más avanzada como BeagleBoard XM en futuros trabajos de investigación.

GRACIAS