

# Segmentação de Nuvem de Pontos em Superfícies planas a partir de Imagem de Distância

Andrey Augusto Alves de Oliveira <sup>1</sup>  
Prof. Dr. Jorge Antonio da Silva Centeno <sup>2</sup>

UFPR – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

81531-990 Curitiba PR

<sup>1</sup> andreyaugusto6@hotmail.com

<sup>2</sup> centeno@ufpr.br

**Resumo:** Neste trabalho objetiva-se segmentar uma nuvem de pontos para a modelagem de superfícies a partir de imagem de distância obtida com a câmara PMD[vision]®CamCube 2.0. Aborda a calibração da câmara com o método proposto por Zhang, sendo a correção da imagem realizada com os parâmetros provenientes deste processo. Redução do ruído com o filtro da mediana. Projeção ortogonal dos pontos para geração da nuvem de pontos, adotando o modelo da geometria das câmaras pinhole. Segmentação dos pontos para realizar o crescimento de regiões nos planos da superfície do objeto imageado, por análise de componente principais. Esta câmara calcula a distância de objetos utilizando o princípio de tempo-de-vôo, através da emissão e recepção de uma onda contínua de luz. Uma de suas vantagens é que fornece informações de distância de grande número de pontos de forma rápida.

**Palavras chaves:** Imagem de Distância. Ruído. Calibração de câmaras. Correção geométrica. Projeção ortogonal. Modelagem de superfícies planares da imagem por crescimento de regiões.

**Abstract:** This paper aims to segment a cloud of points for modeling surfaces from a range image obtained with the camera PMD[vision]® CamCube 2.0. Discusses the calibration of the camera with the method proposed by Zhang, an image correction performed with the parameters from this process. Noise reduction with the median filter. Orthogonal projection of points for generation a point cloud, according the of the geometry of pinhole cameras model. Object segmentation with region growing and principal component analysis. This camera computes the distance of objects using the principle of time-of-flight through the issuing and receiving a continuous wave of light. One of its advantages is that it provides range information for large numbers of points quickly.

**Keywords:** Range Image. Noise. Camera calibration. Geometric correction. Orthogonal projection. Modeling of fitting surfaces with region growing.

## 1 Introdução

Atualmente existem opções para obtenção da informação tridimensional de objetos de forma cada vez mais rápida. Exemplos são as câmaras de distância (*Range Cameras*) que produzem as imagens de distância (*Range Imaging*). Estas imagens digitais oferecem informações de distância do objeto imageado, e possibilitam o seu mapeamento tridimensional de forma relativamente rápida. Com estas imagens podem-se obter informações para o mapeamento tridimensional de objetos a pequenas distâncias. Isto auxiliado ao Processamento Digital de Imagens torna-se uma promissora ferramenta para o mapeamento. Um exemplo de câmara de distância é a utilizada neste trabalho, a PMD[vision]® CamCube 2.0, que utiliza um sensor PMD (*Photonic Mixer Device*) desenvolvido pela empresa alemã PMD Technologies. Este

equipamento fornece imagens digitais com informações de distância para cada pixel. Algumas aplicações podem ser feitas nas áreas de mapeamentos de objetos em movimento, mapeamentos de obras de arte, análise de deformações em estruturas, movimentação robótica, criação de plantas de prédios civis e industriais, prevenção de acidentes automobilísticos, medicina, jogos eletrônicos, entre outras.

Com este trabalho objetiva-se a modelagem tridimensional rápida de algumas superfícies planas de um objeto. Para isto é necessário corrigir a geometria da imagem de intensidade e de distância, eliminar pixels com subexposição e superexposição, minimizar ruídos, projetar pontos ortogonalmente a partir de suas distâncias radiais, gerar uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais e, a partir da nuvem de pontos, segmentar as superfícies e fazer o crescimento de regiões em feições planares de interesse.

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Princípio de medida de distância

O princípio do tempo-de-vôo “TOF” (*Time-Of-Flight*) permite calcular a distância de objetos a partir da emissão e recepção de uma onda de luz. Utiliza-se para isso um conjunto de emissor e receptor ópticos, que mede o tempo necessário para o raio retornar para o sensor após atingir o alvo, com base no conhecimento do valor constante da velocidade da luz. De acordo com Centeno (2004) o cálculo da distância pode ser realizado através do método de mudança de fase de uma onda contínua. Sistemas que utilizam este método trabalham com a determinação da mudança de fase de uma onda contínua. Este método considera que o sinal refletido pelo alvo, mantém a mesma forma do sinal modulado emitido, mas a fase do sinal emitido é diferente da fase do sinal recebido. Sendo assim, a mudança de fase entre os dois sinais pode ser utilizada para calcular a distância, através da equação (1):

$$D = \frac{\varphi \cdot c}{4 \cdot \pi \cdot f} \quad (1)$$

Onde:

- $D$  – distância entre o sensor e a superfície;
- $c$  – valor constante da velocidade da luz propagada no vácuo;
- $\varphi$  - diferença de fase das ondas emitida e recebida;
- $f$  - freqüência do sinal modulado.

No sistema PMD a distância entre o sensor e o alvo é medida utilizando o método da diferença de fase, com uma função de correlação entre o sinal emitido e o sinal refletido, sendo a amplitude dos sinais moduladas na mesma freqüência. Usando uma função de correlação, a iluminação pode ser feita através de dióodos emissores de luz “LED” (*Light Emitting Diode*). Tem-se a vantagem que esta função pode ser obtida com o sensor PMD, a partir da forma senoidal do sinal refletido (Rapp, 2007).

### 2.2 Erros de medida

Erros de medida podem ser divididos em erros estatísticos e sistemáticos. Os erros estatísticos são derivados do modelo matemático adotado para representar o fenômeno, mostram a relação entre a variância das distâncias e a amplitude dos sinais captados pelos pixels do sensor. A relação estabelecida é que a variância dos dados de distância é inversamente proporcional à raiz quadrada da amplitude do sinal. Erros sistemáticos se repetem seguindo um determinado padrão e podem ser preditos e corrigidos. Os erros estatísticos, também chamados acidentais, são randômicos e não previsíveis, mas, no entanto, podem ser distribuídos entre todo o conjunto de dados por técnicas estatísticas (Gemael, 2004). Os erros sistemáticos da câmara CamCube 2.0 estudados com este trabalho foram:

1. Ruídos, erros de exposição, ou intensidade, causados pelo tempo de integração;
2. Deslocamentos dos pixels gerados pela distorção de lentes da câmara.

Ruídos e erros de exposição podem ser notados quando o tempo de integração na tomada da imagem varia. O conjunto de dados pode apresentar maiores ou menores ruídos, e consequentemente, maiores ou

menores distorções. Analisando dados obtidos com diferentes tempos de integração, pode-se especificar qual o melhor tempo de integração da câmara para cada situação, o que possibilita a aquisição de uma boa imagem. Deslocamentos dos pixels são notados quando é tomada a imagem de uma parede plana. As distâncias de cada pixel em relação à câmara deveriam ser iguais, mas na prática, acabam não sendo. Esta distorção tem um padrão fixo em câmeras com sensor CCD (*Charge Coupled Device*), e pode ser corrigida utilizando os Parâmetros de Orientação Interior (POI) da câmara no momento da exposição.

### 2.3 Tempo de integração

Este pode ser considerado o parâmetro interno mais crítico em uma câmara de distância, pois descreve o período de tempo que os fótons necessitam para detectar a onda de luz, da emissão até sua recepção, com a finalidade de obter a diferença de fase da onda portadora e, por conseguinte a distância do objeto. Se o tempo de integração é muito baixo, alguns fótons podem não ser ativados, ocasionando pixels com valor zero. Por outro lado, se o tempo de integração é muito elevado, o pixel pode ficar supersaturado, o que também causa erro na medida da distância. Sendo assim, é necessário determinar um tempo de integração ideal para cada cena. Em algumas câmeras de distância o tempo de integração é adaptado por hardware, nas câmeras PMD este problema podem ser resolvidos por software (Wiedemann *et. al.*, 2008).

### 2.4 Câmera PMD[vision]® CamCube 2.0

Nesta câmara é utilizado um sensor PMD que permitem armazenar informação de intensidade e da distância de cada pixel da imagem em relação ao equipamento. Câmeras com este dispositivo têm a vantagem de imageamento rápido dos objetos, com alta resolução bidimensional como em um chip sensor com tecnologia CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*). O sensor consiste de um arranjo de pixels PMD, que permitem a rápida detecção e modulação de raios de luz com suas variações, de acordo com a distância da superfície que atinge do objeto imageado. Esta tecnologia foi desenvolvida recentemente, tendo-se como base o princípio de tempo-de-vôo de uma onda de luz para medição da distância. Pode adquirir dados de distância e intensidade simultaneamente, sem precisar de um mecanismo eletrônico de digitalização mais complexo, como um equipamento laser scanner. Apresenta a desvantagem de ser muito sensível à luz de fundo dos na cena dos objetos imageados, o que causa ruídos na imagem obtida, no entanto, é uma opção para medir objetos próximos ao sensor (Khongsab, 2009).

As câmeras PMD consistem em um chip sensor PMD, uma fonte de iluminação, transmissor e receptor ópticos, além de periféricos eletrônicos (responsáveis pela modulação da freqüência do sinal emitido) e interface digital de controle do equipamento através de software. Dependendo das exigências de aplicação, as componentes da câmara podem ser adaptadas. Cada componente pode afetar os parâmetros da câmara, tais como a distância da superfície a ser medida, campo de visão, tempo de integração na tomada da imagem e taxa de medição do tempo de retorno da onda eletromagnética. Procurou-se que o projeto desta câmara fosse o mais modular possível, o que pode ampliar a sua gama de aplicações. Isto é possível levando-se em conta as condições adicionais que cada aplicação pode exigir, tais como a estabilidade da luz solar e até mesmo, a necessidade de mudança na iluminação utilizada (PMD Technologies, 2009).



**Figura 1 – Câmera PMD[vision]® CamCube 2.0**  
Fonte: PMD Technologies (2009)

O desempenho do sistema PMD depende da fonte de iluminação, capacidade de fornecimento de energia e eficiência óptica na criação da imagem. Na câmara Camcube 2.0 é utilizado o princípio de iluminação LED. Com este tipo de iluminação o circuito de modulação pode ser mais facilmente implementado, devido à suas características eletro-ópticas. A modulação do feixe pode ser feita por uma óptica integrada LED. Como parte considerável da luz fica na borda do feixe, isto se torna uma desvantagem, pois esta área não pode ser utilizada na iluminação do campo de visão do sensor PMD. Outra desvantagem diz respeito ao limite de modulação dos LED's comerciais, que é de 20MHz à 30MHz (Ringbeck, 2007).

A câmara CamCube 2.0 funciona em ambientes internos e externos, com um sensor de 204 x 204 pixels e capta simultaneamente tons de cinza da imagem e as distâncias dos pixels. A figura 1, mostra uma imagem deste equipamento com as fontes de iluminação LED acopladas.

Utilizando um adaptador, este equipamento pode ter seu campo de visão aumentar possibilitando diminuição de manchas na imagem causadas por arrastamento. Modulando as fontes de luz é possível flexibilizar os intervalos de medição e também programar leituras em regiões de interesse. Apresenta uma interface de alta velocidade que fornece dados brutos para o processamento das imagens, funcionando em diferentes canais de freqüência. Também existe a opção de atualização do software utilizado para o processamento e visualização dos dados além de disponibilizar interface com outros programas, tais como o Matlab. O quadro 1 mostra algumas especificações técnicas do equipamento.

PARÂMETROS	VALOR PADRÃO	OBSERVAÇÕES
Tipo do sensor:	PhotonICs PMD 41k-S (204x204)	Com SBI (Supressão de Iluminação de Fundo).
Distância de medição:	0,3 – 7metros	
Precisão ( $1\sigma$ ):	< 3mm	Valor típico para área central do sensor à 2m de distância e com refletividade de 90%.
Taxa de captura de dados (3D):	25 fps (quadros por segundo)	Valor inicial típico, dependendo das configurações da câmara.
Campo de visão:	40° x 40°	Montagem da lente CS: f=12,8mm
Comprimento de onda da fonte de iluminação:	870nm	Classe 1 de segurança para os olhos.
Fonte de iluminação [V]:	12 V $\pm$ 10%	
Interface	USB 2.0	
Temperatura de operação:	0°C à 50°C	
Temperatura de armazenamento:	-20°C à 85°C	

**Quadro 1** - Especificações da câmara PMD[vision]® CamCube 2.0

Fonte: Adaptado de PMD Technologies (2009)

### 3 Materiais e métodos

#### 3.1 Material

Neste estudo foram utilizadas imagens de distância e intensidade de uma caixa de papelão, obtidas com a câmara PMD CamCube 2.0, processadas com computador desktop, softwares instalados, recursos estes do laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná.

#### 3.2 Métodos

A forma de trabalho utilizada neste trabalho consiste basicamente em calibração da câmara, utilizando imagem bidimensional, pré-processamento e processamento dos pontos obtidos com a imagem de distância. Com a calibração da câmara determinam-se os Parâmetros de Orientação Interior da câmara (POI). No pré-processamento retiram-se os ruídos da imagem e projetam-se os pontos em um sistema de coordenadas 3D, ou ortogonal, tendo em vista que estavam em um sistema polar de coordenadas. Com isto gera-se uma nuvem de pontos livre de erros causados por ruídos ou distorções de lentes, de acordo com uma tolerância. Com o processamento objetiva-se encontrar pontos da nuvem de pontos que

caracterizem superfícies do objeto que possibilitem a sua modelagem.

### 3.3 Calibração da câmara

A calibração é realizada para determinar os POI da câmara, e permitem corrigir a geometria da imagem. Para imagens obtidas com câmaras PMD, o processo consiste na calibração da imagem 2D e na informação de distância dos pontos. A calibração 2D é importante para a identificação inicial do objeto e posicionamento correto da informação de distância. Este erro ocorre pela impossibilidade de construir um sistema de lentes perfeito para a câmara. Também há erros gerados no armazenamento digital da imagem, pois se o plano da imagem não for paralelo ao plano focal, podem haver escalas diferentes nos eixos horizontal e vertical da imagem, devendo-se então determinar a dimensão efetiva dos pixels.

A correção dos erros sistemáticos para recuperar a geometria da imagem no instante da tomada é realizada no plano da imagem. Procuram-se os coeficientes de distorção Radial Simétrica ( $K_1, K_2, K_3$ ) e Descentralizada ( $P_1, P_2$ ), coordenadas do Ponto Principal ( $x_0, y_0$ ) no plano da imagem e distância focal calibrada ( $f$ ) para realizar a correção. A Distorção Radial Simétrica pode ser dita a parcela de refração não desejável que um raio sofre ao atravessar uma lente. A Distorção Descentralizada é composta pelas distorções Tangencial e Radial Assimétrica, é causada pela impossibilidade de alinharem-se perfeitamente os eixos ópticos das lentes que compõe a objetiva (Andrade, 2003). Correções para estas distorções podem ser feitas com as fórmulas (2) e (3), que adotam somente os termos significativos,  $K_1, K_2, K_3$  e  $P_1, P_2$  e dispostas nesta forma proposta por BROWN (1971).

$$x' = x + x \cdot (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots) + (P_1 \cdot (r^2 + 2 \cdot x^2) + 2 \cdot P_2 \cdot x \cdot y) \cdot [1 + P_3 \cdot r^2 + \dots] \quad (2)$$

$$y' = y + y \cdot (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots) + [2 P_1 \cdot x \cdot y + P_2 \cdot (r^2 + 2 \cdot y^2)] \cdot [1 + P_3 \cdot r^2 + \dots] \quad (3)$$

Onde:

$(x', y')$  - coordenadas corrigidas da imagem;

$x, y$  - coordenadas com distorções no referencial da imagem;

$\bar{x} = (x - x_0)$ ;

$\bar{y} = (y - y_0)$ ;

$(x_0, y_0)$  - coordenadas do PP no referencial da imagem;

$K_1, K_2, K_3$  - coeficientes da Distorção Radial Simétrica;

$r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ;

$P_1, P_2, P_3$  - coeficientes de Distorção Descentralizada.

Existem algoritmos de livre acesso para realizar esta correção, um deles é o proposto por Zhang (2000). Este método consiste em determinar os POI da câmara tomando imagens diferentes de um gabarito plano com quadrados pretos e brancos de mesmo tamanho, similar a um tabuleiro de xadrez. Este algoritmo calcula as posições dos vértices dos quadrados e, sabendo-se a dimensão de seus lados e do padrão plano da superfície, podem-se obter os parâmetros da câmara. A calibração foi realizada com nove imagens do gabarito, e os parâmetros calculados são apresentados no quadro 2.

PARÂMETRO	VALOR
Distância focal (f) calibrada	(288,70654 e 288,28419)mm
Tamanho efetivo do pixel no sensor	45 $\mu$ m
Coordenadas do Ponto Principal (PP)	(101,5 e 101,5) pixels
K1	-0,46351
K2	0,65634
K3	-0,00069
P1	0,00038
P2	0,00000

Quadro 2 – Parâmetros de Orientação Interior

Com estes parâmetros de calibração da câmara pode-se corrigir a imagem de intensidade, sendo esta ilustrada com a figura 2.

### 3.4 Pré-processamento

Foi realizado um estudo do melhor tempo de integração na tomada das imagens de distância para controle da saturação dos pixels, sendo que o tempo de integração de 2000  $\mu$ s foi o que apresentou a melhor imagem de distância. Para a redução de ruídos nesta imagem foi aplicado uma filtragem com a mediana nos dados corrigidos geometricamente com a calibração.



**Figura 2** – Imagem de intensidade corrigida com os parâmetros de calibração da câmara

#### 3.4.1 Tratamento de ruído com filtro da mediana

Nesta etapa utilizou-se um filtro 3x3 não linear da mediana na imagem de distância. Este é um filtro de suavização de ruídos. A filtragem pela mediana consiste na substituição do valor central da vizinhança, pelo valor correspondente à mediana dos valores dos pixels da vizinhança. A diferença principal em relação a um filtro da média, por exemplo, é que o filtro de mediana não introduz novos valores na imagem, pois substitui o valor central da vizinhança por um valor já existente na imagem. A suavização tende a minimizar ruídos e apresenta o efeito de tornar a imagem mais “embaçada”.

#### 3.4.2 Projeção ortogonal dos pontos da imagem de distância

Como a aplicação da imagem de distância neste trabalho tem o objetivo de mapeamento tridimensional do objeto, e devido ao fato do equipamento utilizado calcular as distâncias dos objetos radialmente, necessita-se então, da projeção ortogonal dos pontos para obterem-se suas coordenadas 3D. Khongsab (2009) utiliza o modelo das câmaras *pinhole* para descrever este processo geometricamente. O posicionamento de cada ponto com coordenadas 3D depende da precisão na determinação dos ângulos verticais e horizontais no sistema polar, devendo estes serem cuidadosamente calculados. A projeção das distâncias radiais em ortogonais pode ser feita através da equação (4).

$$Z = d_r \cdot \cos \left( t g^{-1} \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{c} \right) \right) \quad (4)$$

Onde:

$Z$  - distância ortogonal;

$d_r$  - distância radial;

$c$  - distância focal da câmara;

$x, y$  - coordenadas dos pontos no sistema de imagem.

Para calcular as coordenadas  $(x, y)$  dos pontos no plano da imagem são necessárias as coordenadas do Ponto Principal  $(x_0, y_0)$  no referencial da imagem, tamanho efetivo do pixel na direção horizontal  $(s_x)$  e vertical  $(s_y)$  e também as coordenadas dos pontos  $(x_i, y_i)$ , em relação à origem do sistema de imagem, localizada em seu canto superior esquerdo. Então, calculam-se as coordenadas no sistema de imagem através das relações (5) e (6).

$$x = (x_i - x_0) \cdot s_x \quad (5)$$

$$y = (y_i - y_0) \cdot s_y \quad (6)$$

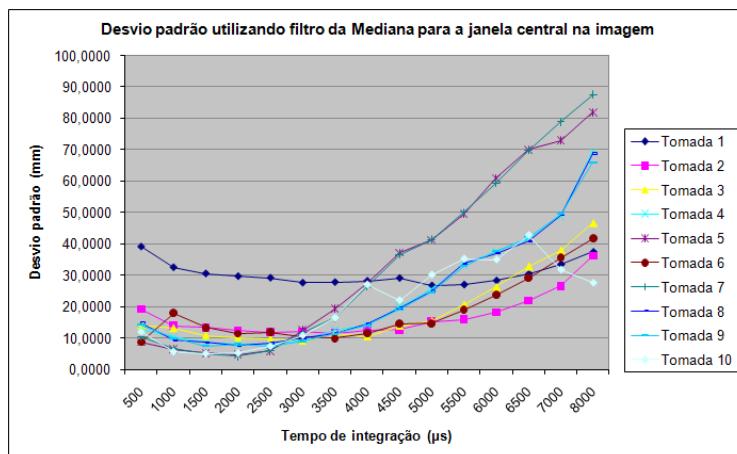
As coordenadas “ $X, Y$ ” dos pontos no sistema ortogonal, são calculadas através das equações (7) e (8):

$$X = x \cdot \frac{Z}{c} \quad (7)$$

$$Y = y \cdot \frac{Z}{c} \quad (8)$$

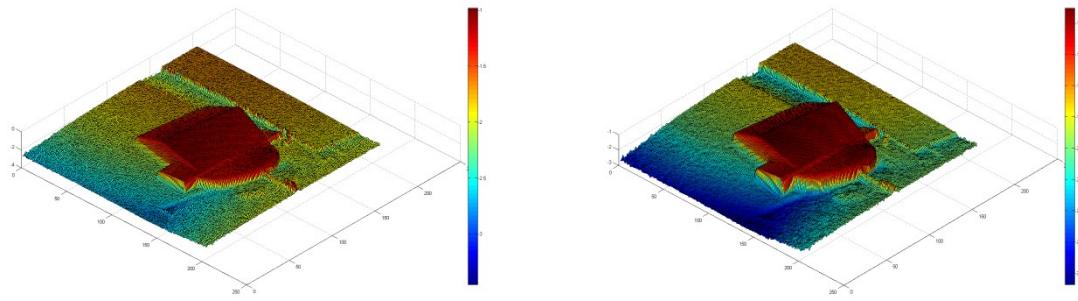
### 3.4.3 Experimento 1 – Projeção ortogonal dos pontos

Para este experimento tomaram-se dez imagens de distância, com diferentes tempo de integração, de uma caixa de papelão sobre uma cadeira a partir do mesmo ponto de vista, com as distâncias da caixa ao sensor variando de 1,25m, em uma distância média. Para diminuir os ruídos e os pixels insaturados e supersaturados, foi utilizado o filtro da Mediana por manter valores de distância originalmente captados pelo sensor. Sendo assim, a imagem escolhida foi a que apresentou desvio padrão baixo de acordo com o tempo de integração utilizado, a figura 3 traz os desvios padrão em função do tempo de integração para as tomadas das dez imagens.



**Figura 3 – Desvios das diferentes tomadas e tempo de integração utilizando filtro da Mediana**

Com auxílio deste gráfico, e de acordo com o posicionamento da caixa, selecionou-se a imagem gerada com a tomada 3 e tempo de integração de 2000μs. A figura 4a mostra a referida imagem de distância bruta e a figura 4b mostra a imagem filtrada com a mediana, ambas em perspectiva 3D.

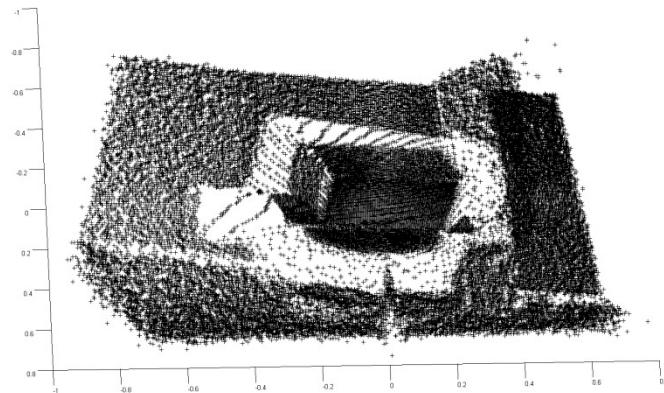


4a) Sem Filtragem

4b) Filtrada

**Figura 4** – Imagem de distância da caixa 3D, tomada 3, tempo de integração 2000µs

Realizadas as etapas de eliminação de pixels com superexposição e subexposição, com a determinação do melhor tempo de integração e filtragem da imagem pela Mediana para redução dos ruídos, pode-se realizar a correção geométrica da imagem e projeção ortogonal dos pontos, gerando assim uma nuvem de pontos em sistema de coordenadas 3D visualizada com a figura 5.

**Figura 5** – Nuvem de pontos 3D da imagem, tomada 3, 2000µs, filtro da Mediana

### 3.5 PROCESSAMENTO

Com a nuvem de pontos 3D gerada, pode-se realizar o crescimento de regiões ao redor do pixel semente escolhido para crescer a região das superfícies em questão no objeto.

#### 3.5.1 Segmentação da nuvem de pontos 3D

Para classificar e extrair a forma das superfícies pode-se criar uma estrutura de vizinhança entre os pontos, esta precisa de atributos, que proporcionem a modelagem das feições, de acordo com um padrão de reconhecimento dos pontos. A vizinhança pode ser obtida a partir da Topologia da superfície do modelo ou triangulação utilizada, e deve estar de acordo com uma distância fixa até a superfície. Outro método é trabalhar com a determinação de um número fixo de pontos para a vizinhança. A extração de feições é possível através do estudo da densidade dos pontos, rugosidade, superfície normal, determinação da variância da curvatura, além de funções envolvendo autovalores e autovetores derivados da Análise de Componentes Principais (Belton/Lichti, 2006).

#### 3.5.2 Análise de Componentes Principais para segmentação das feições

Nesta análise são calculados os autovalores e autovetores da matriz de covariância da vizinhança de um

ponto ou observação. O tamanho relativo e direção dos autovalores e autovetores podem indicar o tipo de primitiva gráfica a ser utilizada para representar a feição. A matriz de covariâncias das coordenadas dos “ $k$ ” pontos vizinhos mais próximos do ponto em questão pode ser calculada com a equação (9).

$$C_{3 \times 3} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\vec{r}_i - \vec{r}) \cdot (\vec{r}_i - \vec{r})^T = \begin{pmatrix} s_x^2 & s_{xy} & s_{xz} \\ s_{xy} & s_y^2 & s_{yz} \\ s_{xz} & s_{yz} & s_z^2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

O vetor de coordenadas do ponto “ $i$ ” é denotado com o vetor “ $\vec{r}_i$ ” (10). Já a posição média do centróide pode ser calculada com a fórmula (11).

$$\vec{r}_i = (x_i \quad y_i \quad z_i)^T \quad (10)$$

$$\vec{r} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \vec{r}_i \quad (11)$$

A decomposição da matriz de covariâncias em autovalores e autovetores é feita com a equação (12).

$$C = W \Lambda W^T \quad (12)$$

$$C = (\vec{e}_1 \quad \vec{e}_2 \quad \vec{e}_3) \cdot \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix} \cdot (\vec{e}_1^T \quad \vec{e}_2^T \quad \vec{e}_3^T) \quad (13)$$

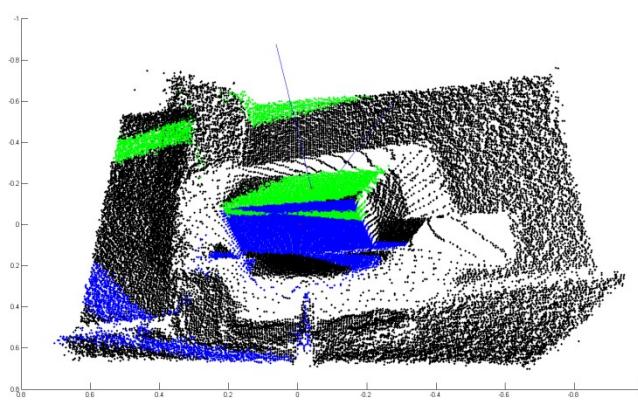
Sendo:

$\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$  - Autovetores;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  - Autovalores.

### 3.5.3 Experimento 2 – Crescimento da região de pixels pertencentes a uma superfície

Neste experimento realizou-se o crescimento da região de duas superfícies, ilustradas com as cores azul e verde na figura (6). Na mesma, apresentam-se os vetores normais das superfícies, sendo que estes partem do pixels semente de cada região.



**Figura 6** – Seguimentação da nuvem de pontos em dois planos

Na figura 6, pode-se notar que o crescimento de regiões nas duas superfícies ocorreu sobre as superfícies esperadas.

#### 4 Conclusão

A metodologia empregada neste trabalho para segmentação da imagem e crescimento de regiões para a extração de superfícies planas mostra-se promissora. Notou-se que alguns problemas com o crescimento das regiões ocorreram devido ao cálculo dos autovalores e autovetores, gerando a superfície com uma pequena inclinação em relação ao plano do objeto. Isto ocorreu por rugosidade da superfície que se pretendia fazer o crescimento da região.

Conclui-se também que imagens de distância, tais como as geradas pela câmara PMD CamCube 2.0, tornam-se uma ferramenta para a geração de nuvem de pontos para a medição de objetos a curtas distâncias do equipamento sensor.

#### 5 Referências bibliográficas

- Andrade, J. B.** Fotogrametria. 2. ed. Curitiba: SBEE, 2003. 274 p.
- Belton, D.; Lichti, D.** Classification and segmentation of terrestrial laser scanner point clouds using local variance information. ISPRS Commission V Simposium 'Image Engineering and Vision Metrology', 2006.
- Brown, D. C.** Close-Range Camera Calibration. Photogrammetric Engineering, vol. 37, nº 8, pp. 855-866, 1971.
- Centeno, J. A. S.** Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba: UFPR, 2004. 209p.
- Gmael, C.** Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas. 3. ed. Curitiba: UFPR, 1994. 319.
- Khongsab, P.** Signal Processing and Performance Evaluation of a PMD Camera for Space Docking. 88p. Lulea University of Techology, Kiruna, 2009.
- PMD Technologies.** PMD [vison]® CamCube 2.0. Datasheet V. Nº. 20090601. 4p. Siegen, 2009.
- Rapp, H.** Experimental and Theoretical Investigation of Correlating TOF-Camera Systems. 71p. University of Heidelberg, Alemanha, 2007.
- Ringbeck, T.** A 3D time of flight câmera for object detection. 10p. In: Optical 3-D Measurement Techniques, Plenary Session 1: Range Imaging I. Zürich, 2007.
- Wiedemann, M.; Sauer, M.; Driewer, F.; Schilling, K.** Analysis and characterization of the PMD camera for application in mobile robotics. 6p. In: Proceedings of the 17<sup>th</sup> World Congress, The International Federation of Automatic Control. Seoul, Korea, July 6-11, 2008.
- Zhang, Z.** A flexible new technique for camera calibration. 5p. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, November, 2000.

#### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo. Ao instituto de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto da Universidade de Karlsruhe na Alemanha, na pessoa do Dr. Boris Jutzi, pelo empréstimo da câmara utilizada na tomada das imagens de distância. A estrutura física e recursos humanos disponibilizados pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (PPGCG) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).