WF *6 W – – }Aê ·) K W >

作者郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用内容和致谢的地方外，本论文不包含其他个人或集体已经发表的研究成果，也不包含其他已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。

学位论文题目：____

作 者 签 名 ：______________________ 日期：______年____月____日

万方数据

摘 要

<!• Ê } > ` . ´ * Ä Simultaneous Localization and Mapping, SLAM Å _ j ˜ êN¶ ,´ £K^ ° _ { 0 È k?±@ ã j ˜ ê0+ ØE÷0; ],´ Ê } >)ß ³ O. L NÈ Ä+a ¾?ö?ù P O ˜,´) (© H ï È?ö?ù SLAM @ jF ¤,´.D0¦' &é Ä* ¾(© ±,´-( jD DZ é# _ …- ?ö ?ù SLAM ] 0 h+X,´ ° _ È- O2î.ž ` `AÑ *-( j } / ¦ Ø Ý * j Ÿ,´ …5 ´ Ä6< È (© ± ))ß ³,´ ÍC†0; ÖE³Q È X4é*65j a1y j Ÿ ]>˜)à = £ È !" È * ¾(© ±,´ …- ?ö ?ùSLAM é# ° ° ˆ X-p > n,´00+¿ WL NÈ È8$ ¦ ) j Ÿ,´ O. pL€ ¾ …5 ´ rM' , þ6< # ¯# Ä+X ¾Gþ F j Ÿ Ò#{ È8 k ,8Z1y ÎLu + Ñ ] Ä ) ¾MŽ5 ´ W j ,´0P ö $! Ö9ç È õ þ …@ Ö •B$ ° ° ¸Lî Ç `@ ã Ä §0 /Ž4ÿ5•5 Ä Convolution Neural Network, CNN ÅX j Ÿ,´Q r Ÿ ¼F >| ÿ3P4× [,´ , + Ñ éM' "4ÿ Ç ¶ ¸ W ,´ @ Ï È ¦ Ø Ý,´$! Ö _0P ö D ˜ p2î.ž,´ È >D DZE÷0;],´5 ´ Ÿ-(Â>• Ä < & CNN ,´$! Ö O. é ? È X ~4é*6 j Ÿ ; § 9 $ -,´R± W Ä

\ · Y+X * ¾(© ±,´-(jD DZ ¼ CNN $! Ö Ø Ý È 6 … é# ¼$! Ö – • M #-(5 8 È þ$! Ö=½ 8@ Ö.D0¦ …- ?ö?ù SLAM ,´0P öGý *L NÈ Ä k?± @ Ì 5 Ö Ä1 ÅAîAÑ ¦ ´ * ¶ 0 ‡ ¼ ¤,´M' A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM 3+5 ÈH F-(jD DZE÷0;],´(© ± 1†+• ¦ E •Q x,´B iG}1Ç# È Q }1] ž £6„,´!".ž W Ä Ä2 Å X$! Ö ` AÑ éM' È * * ¾ Resnet 5 ´,´ J j Ö$! Ö `AÑ5•5 ÈÎ)à ¶MŽ5 ´ W j ,´0P ö$! Ö 9ç È ¦ Î j ¶3+5 X ~4é*6 j Ÿ ¼4ß ûEœF Ø ;,´ W7- Ä Ä3 Å=½ 8E÷0;] È5, 8 Y +X-(jD DZ,´D 7&é ¼ CNN Ø Ý,´$! Ö Ÿ È u 663<• j Ö Q2úL NÈ ¼$! Ö ž,´ 2 W È ´ * ¶ * ¾ FO"r@ 1Ç# ,´$! ÖGý * v æ Ä

关键词：视觉 SLAM；深度估计；稠密重建；稀疏地图点；卷积神经网络

万方数据

Monocular Visual SLAM towards Dense Reconstruction

Abstract

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) is one of the key technologies in the field of robotics, mainly focusing on localization and environment perception. Due to the unique advantages of visual sensors, visual SLAM has become a research hotspot in recent years. Feature-based camera tracking is the most widely used technology in monocular visual SLAM, and is capable of accurately tracking camera pose and inferring structure of the environment. However, features are heavily dependent on the environment, and are not performing well in textureless scenes. So, feature-based monocular visual SLAM always suffers from sparsity problem in reconstructed map, causing its sensing ability limited at the level of scene structure, which cannot be used in practical task, such as field scene detection and autonomous driving. Dense depth map estimation in non-structural area cannot be solved well only from the aspect of pure geometry theory. Convolutional neural network (CNN) has made a great progress on extracting high level feature and regression task of pixel level. In general, CNN-inferred depth is dense and globally accurate, which is complementary with structure data in process of camera tracking. Meanwhile, it has a better robustness because of characteristics of CNN architecture in low-texture scene.

In this thesis, the monocular visual SLAM towards dense reconstruction has been addressed in term of depth fusion, which makes full use of feature-based camera tracking and CNN-inferred depth, and combines the traditional geometry methods with the concept of deep learning. The main research work includes: (1) We design and implement a complete Visual SLAM system towards dense reconstruction. An improved feature extraction strategy and wrong match culling algorithm are introduced to raise the accuracy of data correspondence. (2) In the dense depth estimation, an original CNN architecture with multi-scale module based on Resnet has been proposed, which enhances the performance of whole system under pure rotational camera motion and low-texture scene. (3) The scale ambiguity of monocular SLAM and uncertainty of depth map are well processed in the framework of depth fusion and reconstruction speeding up by a fast solver.

Key Words ÖVisual SLAM; Depth Estimation; Dense Reconstruction; Sparse Map Points; CNN Architecture

万方数据

目 录

万方数据

万方数据

1 绪论

1. 1 课题研究背景和意义

F ¤ • È à » P O ˜,´ .D ¼ ê ª7-,´ FO … j j ˜ êN¶ # • ¶ à,´#k Ë Ä j ˜ ê ° _ XCº •Cº J,´N¶]G->˜)à * = / ,´ HCº W È !" È ¦ h ó ' l ` ¶ – _+| ¼ J+| ,´ ¯# £# Ä 'f6< È P5 ,´ J j ˜ ê ° ° _ j × * Ê ,´ j à7ò F _ X (© ÊE˜Fƒ :0+ Ø,´ Ø j ˜ ê È ³ &¥#k W ~ È ¦ D ))ß ³,´G 5¢?±"r ¸ Q ÄL¿-p j ˜ ê N¶ ,´ … È 8 k0+ Ø ° _ 0 ûF@$@Ä+X ¾• j ˜ ê,´.D ] ÈF W W w ¶ ¦ 4 é M',´ W7- Ö $ ¯# ,´ Œ93 $ È $ ~,´)ß ³G 5¢?±"r È $ ` ü ,´ Ä+X j Ÿ 1y Ä1984 ¤ È 5¾ - -LbQ 4×.D0¦AÑ B5¢ ÄDARPA Å >Lv Ë 8 Œ È C§8 k `M'E–E¶ Ä ALV ÅAÑ BÈ 0 _ ¶8 k0+ Ø j ˜ ê ° _,´ -( £.D0¦ ÄL¿ > È j ¶ F 0!• ØF êP®P¦ ° _ $ Ã $ - ` … ÈDARPA ¾ 2004 8# 2007 ¤ ¡ n Î ¶ 9 z êP®P¦ A HC‹ [1] È A ˜ F+| …)à ¶ X0+ Ø j ˜ ê ° _,´ _ Á ; È j ˜ ê ,´ 8 k W7- "4ÿ F • 0 Z à,´Q Ö ÄL" ¶0 .DL' p X0+ Ø j ˜ ê ° _N¶ 0 ± … 0.D0¦ F È J+| ² •F Ã "³ D"³ Ã/¿(© Ã ×1y G J "-E– fFP ² v • ¾ 2013 ¤ 0 û-(5 X êP®P¦"-E–N¶ F >| ¶ 3 p Ä 2002 ¤ È› ` j ˜ ê Roomba ,´ *)àAñ > ¶0+ Ø j ˜ ê ° _ 0 ûC F ê ,´ + h+O#k È • ƒ)à ¶ ¦ ` ü 6< J g,´ Ä+X } Ÿ Ä ² ÌB$ P5 ,´ J j ˜ ê@ n ¶ ã Ø Ë È i ¶ ê ,´+O × fFP é ? ÈFÓ x0+ Ø j ˜ ê ° _ V •,´ i #¹ ú ` ¶+O#k,´ é éM'M' È 5 ÔFJ Ã ‰6âÃ k+Ç 1y1y ÈF /ý J s F Ã$! r!Q,´ M™ 6 J 15 È) ê ,´+O#k ×+O$! k ,´ ¡ ý ¦ D 6 J M -p $ Ð ª7- F Ã ê W F,´ é A = Ý … ; ë Ä

þ ° _ @ Ö•B$ È0+ Ø j ˜ ê ° _,´ h ó X ¾@ ã T ZL NÈ ÖÎ & Ê } >)ß ³ ` . O. Ä Î & Ê } £ X j ˜ ê0+ ØE÷0; ] = Ý `AÑ ƒ },´ } / Ä }5ž > M A Å ¦Aà … ¤ Z E÷0;,´F ØE˜F) Ä X9ç j ˜ ê } /,´ õ å ; È * ¾ P O ˜,´?ò#{ ž Î)à) j Ÿ ` . ,´ ´ * Ä 5 Ê 0 ZL NÈ@ ,´ õ å ; ë `AÑ 0 ZL NÈ,´ @ _" E³ é C,´ Ä v _ X ÎLu õ å ; È j ˜ êF • ` Z. )ß ³ ] È # }9ç xP¼ ` . • Î)à Î & Ê } È •"Ñ 92î.ž ,´ } / •Eµ Ù j Ÿ ` .,´Gý * Ä !" È 7- X Ê },´E÷0; ] < & Î)à ) ˜ $)ß ³,´ O. £ <!• Ê } > ` . ´ * Ä Simultaneous Localization and Mapping ÈSLAM Å ÄSLAM L NÈ ÿ ,´ _ ƒ j ˜ ê5žDÛ ¾ Z. j Ÿ & È õ ÍM•8 DÛ j V,´ P O ˜ È Î)à) ˜ $)ß ³ ` . ,´ ÎGÿ ? ´ * È ¦ < & `AÑ8 DÛ X ` . ] p 4,´ }5ž ¼ M A Ä X j ˜ ê/n j ] È SLAM L NÈ,´@ ã é x>ÛAÔ j _AÙ j ˜ ê § 9-O!"8 k W,´ £K^ p X Ä 0F q ¤ ] È-( £.D 0¦65 þ*6Aê@ Ö * = < ' ?,´1Ç# È ¦ Ä+X ` = <,´ j Ÿ ; È þ Ô µ ` g F È þ"d ;

万方数据

. 1.1 NASA &› O Ò#{ ˜ ÃBg!| êE– ¼ ÞEŸ,´ HoloLens

Fig. 1.1 Mars rover, Google autonomous car and Microsoft HoloLens

` Y0ª Ä m1Ñ þ*6Aê ¼ ² % rM’ : •B$ È SLAM L NÈ >ÛAÔ j ¸ -,´@ ã ¶ Ä v _ X ´ * 0 ZFJ+X,´ SLAM 3+5 éM’ Í'f 9 ¸ J%Œ X,´L NÈ ÈT ¦ _ > g Y+X ¼9ç ` ü,´ ` . Ÿ Ä

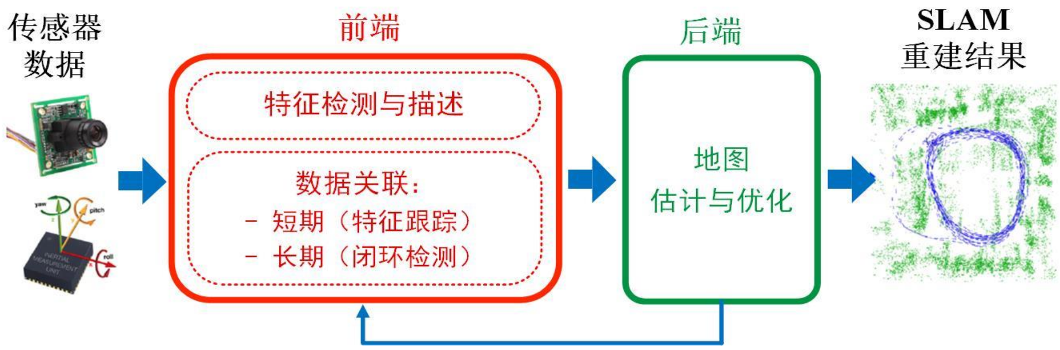
SLAM ,´ C$$À ¾ F-$ß ` 1986 ¤[3] È ƒ & ²)·5 AÑ – J>Û E • ` j ˜ ê ° _ ¼ ê ª7-N¶ Ä WGÿ,´.D0¦65 0 û +"r ¯+X(æ 1 `AÑ,´*6Aê •@ ã * . ¼ Ê }L NÈ Ä O SLAM 3+5 G- _/ë4ï Î)à,´ È-$ ` 2000 ¤ > Î &F >|,´3+5 0 û#¼)à ÈF • , 8$ ¶ SLAM ° _>ÛOÆ!Q Ä+X `&› O Ò#{ ˜ : [4] ÄSLMA ,´ * 0 M _ j ¶@ ã j ˜ ê,´8 k0+ ØL NÈ È vF ¤ • ¤ X8 ØP®P¦ ¼ VR/AR N¶ …)à * j â,´ ï d Ä 2009 ¤ 1 8 È Bg!| _ Ø ( jAÑ B ÈLæ Ž ¾Bg!| X N©- È v ¾ 2016 ¤) 0û @ j 0 æ = j Waymo ,´ œ ( Ä >(© ß ù,´ z8 ØP®P¦3+5 Autopilot = < È Waymo G÷+X 0!• ` } ,´ ê P®P¦ ° _ …D 4ï È-$ Õ.D SAE Level 4+4× [,´ êP®P¦"-E– Ä 2015 ¤ 1 8 , ÞEŸ 3 OÆ Z = 4ï56L€ f,´ Î j)à Î d n Aî 7 Microsoft HoloLens Ä ¯+X J/ý P O ˜ ¼ WGÿ t ÿ d È ËR± ,´ / 1 `AÑ È AÙ+X g > ‡ µ é Ô Â È Î)à ¶ <Š j Ÿ >-O Î)ß ³,´ =½ 8 Ä

- } È?ö?ù SLAM ° _ "4ÿ Ç ¶K¯F ,´ … ÈAè J H/ð,´1Ç# X ÎLuL NÈ]G-Eî ` ¶N´ O,´ x Ì ÄvL¿-p.D0¦,´$! • ÈC° •C° J ,´ ü 9 A H W,´L NÈG- 9 µ@ ã Ä » ² È X § 9Gý =5 ´ È 5j A4é*6,´ Ã = r Ø 1 j Ÿ ; > g Añ1Ç # ,´ 9 xF >| È ² …@ ãK¯ O8 kF >|],´ ˆ ØL NÈ ¼D “8²,´?ö?ù O. L NÈ ÈF65 ² … • < ¯+X J/ý P O ˜ ¦5 8$! Ö – • ° _ Î)à $Q r!Q,´ j Ÿ O. 1y1y ÄF ËL NÈ) ¾ ¼´ SLAM ° _ ÈØ Ø0+ Ø j ˜ ê ° _ X 4>| J,´ Ä+XG- 9Gý W ? y Ä

万方数据

1.2 视觉 SLAM 问题概述

XAÑ1Ç j?ö?ù/n j] È þ 03+ G . ÿ] ' = *-(j,´-( ) } / ¼ 95$ j Ÿ5 ´F 0 L NÈ>Û0 ŒF Ø Ø Ý5 ´ ÄStructure from Motion ÈSFM Å[5] È ³,´C§$À F-$ß ` Longuet-Higgins[6] ¼ Haris[7]1y ê,´ Œ Ä SLAM -; @ _(© Ê ' & ; ,´ SFM ÈSFM $ § 9 08\ W ÈM' A ¿,´ . ÿLö 8 F65?öNÁ(w!å È ¦ D 04ø,´Gý *5 Ì ¼-( j } / J 4ÿE÷ 0 Z/ë4ï,´ ˜ p H F Ä » ² È y • £ # £ bundle adjustment ÈBA Å È þ6<9ç Ç2î 4ö,´ j Ÿ ` . ÄF • ,8$ ¶ ¦1Ç# ,´AÑ1Ç = r Ö _ > .(w,´ Gÿ ¼ j Ÿ,´ W ? @!"-(£ ,´ [8] Ä-(ý È SLAM $ Ð £ ó-(j Î &,´F Ø õ å È6< a F ¶ ` .,´ ´ * Ä v _L¿-p Î & SFM 1Ç# ,´ = Ý#¼)à ¼ SLAM ] ) ´ *Q CXGÿ ` .M0"r ,´ = Ý : w È T65 {L$,´+| L€ "4ÿ ¦ =FÓ x > n Ä ¨ »,´ SLAM 3+5 þ ² % : 6 @ TG 6 Ö}1 ¼ >1 Ä}1 COCS) P O ˜ žF >| íB' 4*6F 6< j >5 ,´(æ 1 `AÑ Ë 8F2,´ Ÿ È>1 I * ¾F Ë ŸF >|(æ 1 Ø Ý ¦ = Ý H F `AÑ5 Ì [9] Ä3+5 5 ´ ² . 1.2 p/j Ä



. 1.2 SLAM E÷0;,´ ¨ » v æ5 ´ /j ? .

Fig. 1.2 Illustration to typical framework of SLAM process

1.2.1 SLAM 问题中的运动与观测模型

ƒ j ˜ ê X Z. j Ÿ] Ò#{ & È+a ¾ # 9ç)ß ³,´ xP¼ Ÿ È p õN« Î)à < & Ê } > ` .Gý * ÄFÓ x È þ –@ Ö •-; ÈF T Z Q ‡ 6 [ ) Ä ¶ SLAM L NÈ ],´ T Z Q » ÖF Ø >?ò#{ [10] Ä m1Ñ j ˜ ê Ò#{E÷0; _F 5 ,´ È v ` P O ˜G÷ gNÁ)·,´L€ f È A 6F !åF 5 ,´F ØE÷0; 6@ @/ë " & k $t = 1,2 \ldots K$ & +O,´F Ø È p A M0?± £# F Ë & k ;,´ } / > ` . Ä A +X $x$ >˜/j j ˜ ê,´ } / ÈFÓ x j ˜ ê ¤ ZF Ø E÷0; ],´ E˜F) a +X $x_1, x_2, x_3 \ldots x_K$ >˜/j Ä wAî ` .+a N ZD 7&é ´ @ ÈAà Œ $y_1, y_2, y_3, \ldots y_N$ Ä

万方数据

ð x _F Ø Û F Ø é0; k+k,´ _ = < & k j ˜ ê } / x ,´ F Ä FJ h õ å ; j ˜ ê J j VF Ø#{Gÿ P O ˜ » ²Gü0;AÑ F65 W#{Gÿ … s È-$ Õ#{Gÿ,´F Ø Ÿ ø0 × fEÃ • [11] È>˜/j @ Ö

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \ldots, u_K\} \quad \text{Ä1. 1 Å}$$

I j ˜ ê X T ZF 5 & kL$ } /-( ) ¾F Ø#{Gÿ I,´ £3+ +a ;M’,´MŽ4ï WF Ø Q »>˜/j Ö

$$x_{t+1} = f(x_t, u_t) + w_t \quad \text{Ä1. 2 Å}$$

F Ø P O ˜3+5 ,´ š FJ h>Û * Q @ 0 w I é j › ,´Q ß 6 3 È+a š N© w_t>˜/j Ö

$$w_t \sim N(0, \Sigma_t) \quad \text{Ä1. 3 Å}$$

!” È t+1 & k } / • >Û k+k @Q ß 6 3 Ö

$$x_{t+1} \sim N(f(x_t, u_t), \Sigma_t) \quad \text{Ä1. 4 Å}$$

F Gü,´F Ø - "Ñ 9 7 > ¦ § f ’ ? È _ j X ÎD%] È) ¾ = <,´ j ˜ ê3+5 È G÷+X = <2« »,´ P O ˜ È,8$ × fEÃ • _ = 0 g,´ È !”F Ø - ,´ ’ ? • _ s 7 [Ä wAî j ˜ ê,´(æ 1 Gÿ j $x = (x, y, \theta)^T$, × fEÃ • j $u_t = (v, \omega)^T$, £F ØE÷0;]FJE÷ P O ˜ #{Gÿ * ¦ £0+FO)· ¼@ FO Ö È I) Ä,´F Ø Q » f^{CTRV} j Ö

$$x_{t+1} = f^{CTRV}(x_t, u_t) = x_t + \begin{cases} \begin{pmatrix} v_t \cos(\theta_t)\Delta t \\ v_t \sin(\theta_t)\Delta t \\ 0 \end{pmatrix} & , \omega_t = 0 \\ \begin{pmatrix} \dfrac{v_t}{\omega_t}(\sin(\theta_t + \omega_t \Delta t) - \sin(\theta_t)) \\ \dfrac{v_t}{\omega_t}(\cos(\theta_t) - \cos(\theta_t + \omega_t \Delta t)) \\ \omega_t \Delta t \end{pmatrix} & , \omega_t \neq 0 \end{cases} \quad \text{Ä1. 5 Å}$$

ð x _?ò#{ Û ?ò#{ é0; ÿF ,´ _ X t & k È j ˜ ê ¾ x_t 4)D 7&é y_i ×+O?ò#{ I $z_{t,i}$,´E÷0; Ä j ˜ ê j V,´?ò#{ P O ˜ ,´?ò#{5 Ì >˜/j @ Ö

$$Z = (z_{1,1}, z_{1,2}, \ldots, z_{1,N}, z_{2,1}, \ldots, z_{t,i}, \ldots, z_{K,N-1}, z_{K,N}) \quad \text{Ä1. 6 Å}$$

I j ˜ ê X t & k)D 7&é y_i,´?ò#{ I $z_{t,i}$ > } / x_t,´ £3+ ² ; Ö

$$z_{t,i} = h(x_t, y_i) + \lambda_{t,i} \quad \text{Ä1. 7 Å}$$

?ò#{ P O ˜3+5 ,´ š FJ h>Û * Q @ 0 w I é j ” ,´Q ß 6 3 È+a š N© $\lambda_{t,i}$>˜/j Ö

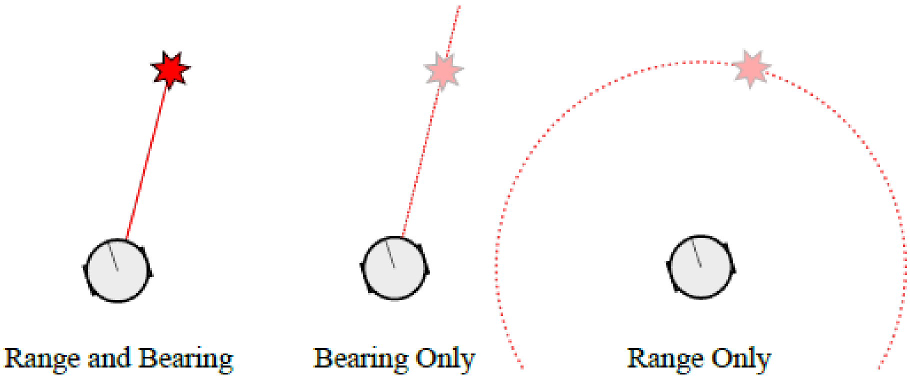
万方数据

$$\lambda_{t,i} \sim N(0, \Lambda_{t,i}) \qquad \text{Ä1. 8 Å}$$

I Ö

$$z_{t,i} \sim N(h(x_t, y_i), \Lambda_{t,i}) \qquad \text{Ä1. 9 Å}$$

>F Ø - ƒ 0 g È?ò#{ Q »],´ íB' - h ,´ § ƒ ' ? ã ¾?ò#{ P O ˜ ,´/ý2« Ä 08\ õ å ; È J¸) = <,´ ?ò#{ P O ˜D 7&é,´?ò#{ Q ? 6 @ 92« Ö93 $ ¼ é } ÄRange and Bearing Å È4ß é } Ä Bearing Only Å ¼4ß93 $ ÄRange Only Å[11] È ² . 1. 3 p/j Ä



. 1.3 D 7&é,´ 9/ý?ò#{ Q ?

Fig. 1.3 Three different modes of landmark observations

ƒ?ò#{ P O ˜ j …- -(j & È 7-9ç ?ö?ùD 7&é,´ é } È9 L¿-p j ˜ ê,´F Ø È B D 7&é>Û ¼!Q?ò#{ ` È!!" & FJE÷F Ø?ö •.ž ÊD 7&é,´93 $ £D /ë j ˜ ê,´ D /ë Ä ² Ì?ò#{ P O ˜ _ ü- -(j F65 _ RGB-D -(j & È I -$ Õ#{Gÿ *93 $ > é } È v ¯+X ˜*3 ,8Z › O3+5 ÄGNSS Å F65 Wi-Fi & a 7-9ç 93 $ Ä

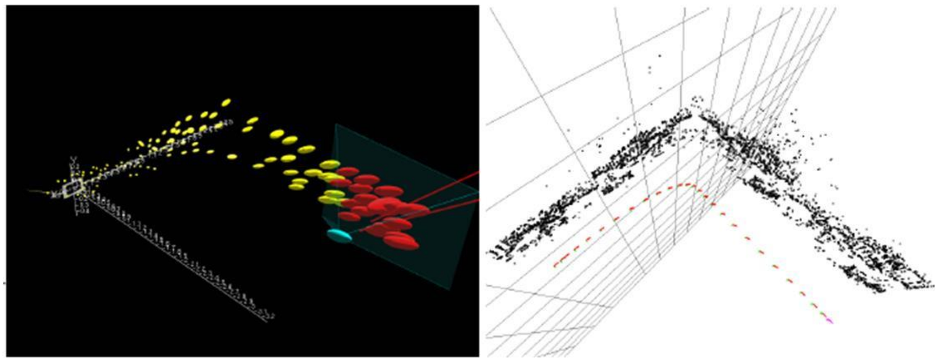
1. 2. 2 视觉 SLAM 的发展与研究现状

?ö?ùSLAM þ 0 M ²)· ƒ3+ ;,´(æ 1 `AÑ … `)à X,´MŽ4ï W H F"r@ Ė h ó µ é ¦"Ñ 9 +O Z W,´ F Äk#q,´?ö?ù SLAM ° _ W8$4ÿ ¶ ¶ 9 Z …Lf!å Ö* ¾% # ˜Lf!å Ã * ¾ £K^ W H FLf!å ¼ * ¾-$ ÕD DZLf!å Ä

MonoSLAM[12] _ * ¾ P5 CM & ß% # ˜ é# ,´ ¨ » >˜ È+a Davison 1y ê ¾ 2007 ¤ 0 È _OÆ Z õ ÍC† …- -(j,´?ö?ù SLAM v æ Ä ¯+X Shi-Tomasi @ &ê[13] • k+k)ß ³],´00+¿(© ± Èà ð#{ `,´(© ± = Ý > ¶ "(© ±F >| iG} ÈF 6<9ç j Ÿ,´$! Ö Ÿ È ' = *)ß ³,´ 95$5 ´ È ¦ ¯+X ™ … ' D ,% # ÄExtend Kalman Filter ÈEKF Å )3+5 ,´(æ 1F >| $ à Ä +a ¾ X3+5 (æ 1 `AÑ] È j ¶1° FAÑ1Ç È!ÿ 0 & k,´ `AÑ 63<• ƒ }

万方数据

,´(æ 1 È-(j,´ ¶ "F Ø Ÿ 6 = ½ ò >AÑ1Ç ÄF g Š,´-$ Õ ¡ ý a _ ,8$B 3_AÑ Ð — È ƒ 0 & k,´AÑ1Ç5 Ì ˆ X • & ÈF 0 • 6 = Ý>Û PFB ; ë È 04ø FP @Œ˜F) U Gÿ%20+ ÄF • _ ,8$F 2«1Ç# # K¯ &L$Q xF >|,´ k?± Ï Ä 0 éM’ È MonoSLAM 6 95$ j Ÿ&é Œ j µ `AÑ(æ 1 Gÿ,´ 0G 6 ÈL€ f ¶ ÎLu Ä+X j Ÿ,´ j Ö Ä .D0¦65 M B þ = <@ Ö • $ -,´ ¯+X% # é# È Pupilli ¼ Calway[14]1y ê 62Â €% # Ä Particle Filter ÈPF Å E •?ö?ù SLAM È+X •FlF MŽ4ï WMŽQ ß3+5 ;,´ ²)· 6 3 × Montiel[15]1y ê I *F6$! Ö>˜/j# • Î j?ò#{ é0;,´4ï W Ö Ä 2007 ¤ Mourikis[16]1y ê *,´ J(æ 1 4Ö • ‘ D ,% # Ä Multi-State Constraint Kalman Filter ÈMSCKF Å=½ 8 ¶ W#{Gÿ … s ÄIMU Å ž È ¸ W0; Ö :5C@ ¶AÑ1Ç = r Ö Ä MSCKF X $ àLf!å63<• pG ` . µ,´ p 9(æ 1 È = Ý H F ƒ }-(j,´ } / ¼0Ç µ,´ ¶ "(æ 1 È ÿE« ¶B ,´3_0 Ä 0 é M’ 6(© ±&é,´ 95$ € 7 Ÿ >3+5 (æ 1 Gÿ@ 6V È W WL} ~ ¶AÑ1Ç = r Ö Ä



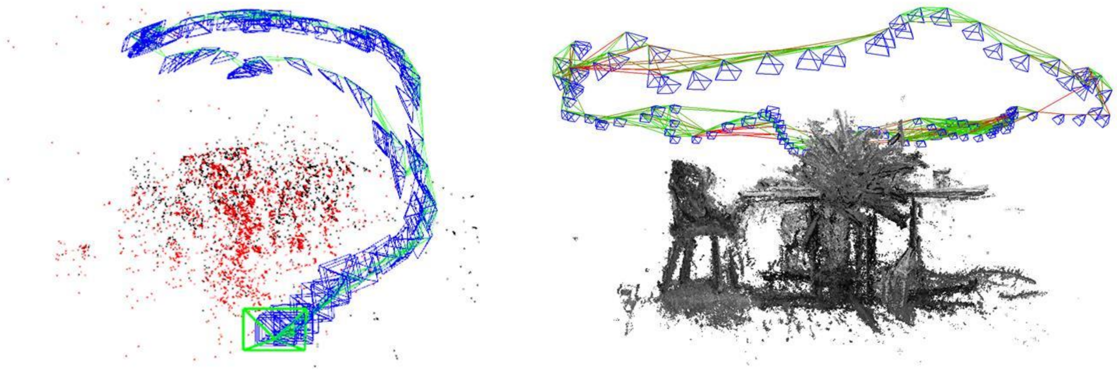
. 1.4 MonoSLAM ¼PTAM ,´Gý *5 Ì

Fig. 1.4 The reconstruction results of MonoSLAM and PTAM

2012 ¤ Strasdat ¼Montiel[17]1y ê U I 6 À)" ¶ * ¾% # ,´ é# ¼ £K^ W H F,´ é# È X = < j Ÿ ; 6 [¯+X = < P O ˜F >| WGÿ,´ ÎP¼ È 04øAñ > £K^ W H F,´ é# ?± H ¾% # # ÄKlein 1y ê,´ PTAM ÄParallel Tracking and Mapping Å[18] _ 0 ,´ * ¾ … - -(j,´ £K^ W H F SLAM 3+5 ÈK à W ` * 6-( jD DZ ¼ ` . ´ * 6/ë È¦Añ > ¶ ¦ X<Š)à Î Ä+X],´ 9 x W Ä X Ï û,´(x \,´ *.p : È Klein 1y 9 Š ¶F 0!• iF È XD DZE÷0;]$+ ÐEé(© ± ¼ ûEœ `AÑ ¦ j F ¶Gý Ê }1†+• [19] Ä¤ Z ` . ´ *4ï0; 5$ Ô £K^ W ¼) Ä,´00+¿ ` .&é È¯ Ç3+5 7- O Î &F >| BA H F Ä m1ÑPTAM ˆ X ¸ > n ,´ =Cã È » ² F2+X ¾ ? j Ÿ ÈD DZ =0c Ê1y È v ¦ h ó,´ } >1 M # * \ • Ê ¶)à SLAM 3+5 ,´ W ƒ v æ Ä2015 ¤ Raul *,´ ORB-SLAM[20] k ƒ"ï+X ¶ PTAM ,´ M # È

万方数据

¦) ¦ v æ * ¶ iF ¼ Î j Ä > PTAM -(" È ORB-SLAM G÷+X5 0,´(© ±>˜/j È ¼ @ ¶-(jD DZ ¼L)ß ð#{ È M û F &G÷+X _ ?,´1†+• ÈJ¸) = < õ åF9 0 8F2,´ M û F é# È>1 ¯+X pG BA ¼ ˜ p . H F-(5 8 È¯ Ç3+5 § 7E³Q ,´2î Ö ¼R± W Ä ORB-SLAM _)à ?ö?ù SLAM 3+5] * ¾(© ± é# ,´ * >˜ Ä



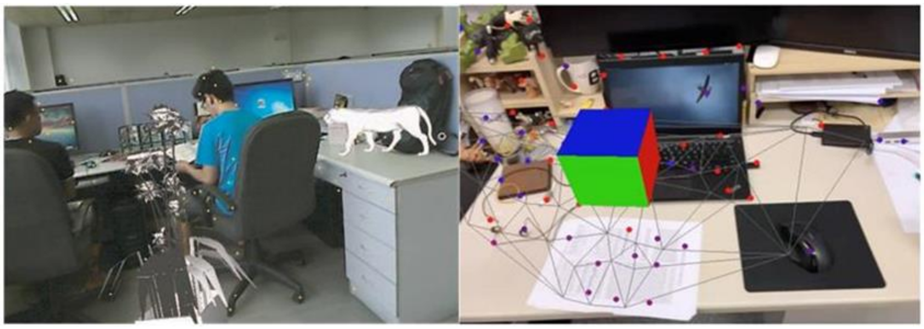
. 1.5 ORB-SLAM ¼LSD-SLAM ,´ ?ö?ù x Ì

Fig. 1.5 The visual effects of ORB-SLAM and LSD-SLAM

Aê _ * ¾% # ,´ é# F _ * ¾ £K^ W BA ,´ é# ÈG-M0?±8áCi ¸ W &L$ 0K0 ë (© ±&é È T ¦ _ X ~ y ' & F5 ´ F j Ÿ] È ¸Lî `2î.ž DR± ,´(© ± Ä 9.D0¦ 65 X* ¾ Þ Ö 08$ W Ä Intensity Consistency Å wAî,´ ' & ; * ¶ 0 ? F y ÖB ÄPhotometric Error Å • /(© ±#],´0ªL$ …B Ä Geometrical Error Å Ä-$ ÕD DZ # wAî ÎLu)ß ³],´ < 0 Z 95$&é X = < & k = <?ö@ ;4ÿ+a @ ÿ Q » ×+O,´ Þ Ö I _ , Ê = ,´ Ä ¦] 0 § >˜ W,´ Œ?± Engel 1y ê ¾ 2014 ¤ *,´ LSD-SLAM[21] ¶ Ä > ORB-SLAM -(" È LSD-SLAM -$ Õ ´ * = < WL$Q 4é*6 j ,´ ÿ3P) Ä £3+ È DG÷+X £K^ W ° _ È X GPU ÐFO,´ õ å ; Î)à ¶) j Ÿ,´ z 0P öGý * È n/j ¶ ¯LD,´ Ä+X} Ÿ Ä

- µ?ö?ù SLAM ,´C§!•-( ) •B$" E³ Š È § 9 >˜ W,´ SLAM 3+5 9#‰"• W – CAD&CG - æGý&é ÎP¼ Ô¾ 2013 ¤ 0 ,´ RDSLAM[22] ÄRDSLAM C# ¾ = r Ø 1 j Ÿ ;,´Q xD DZ ¼R± Gý * È7- O Î & ð#{ *)ß ³ F?ò ¼5 ´,´ F È8 F2 Ä ` )F@$@ F,´ j Ÿ Î)à * Q Ä 0 Z § 9 >˜ W,´ SLAM 3+5 _OÉ$_0 ° W –"¸ Ý Û1y ê ¾ 2018 ¤ 0$À,´ VINS-Mono[23] ÄB 3+5 Î)à ¶-( j ¼ ,,´3W6V 8 H F"r@ È@ ã ¶6„ 8 7 Ê > IMU • . !"1yL NÈ È Eî ` ¶ X4ï4× [,´Gý Ê } ¼(æ 1 `AÑ Ä R± ,´ M û F 1†+• ÈGý Ê } ° _ ¼Q x,´ } / . =+X ¯ ÇB 3+5 X AR/VR j Ÿ È ê j ,8Z] Ç ¶MŽ h -,´ x Ì Ä

万方数据



. 1.6 RDSLAM ¼VINS-Mono X AR],´ Ä+X …/j

Fig. 1.6 The effects of RDSLAM and VINS-Mono in application to AR

1.3 面向稠密重建的单目视觉 SLAM 研究

X 1.2 8²,´ 0 d È "4ÿ jB3 ¶ P5 SLAM > SFM ,´ j [¼ ×Gý&é,´ = < È F GüM0 ?±B$ >,´ _ £ ¾ SLAM $ Ð# Gý Ê }6< a F ¶ ` .Gý * ,´>˜F _ 7 X.ž Ê }2î Ö Cã O ¼3+5 F >| x)·,´ õ å ; • ÿ A ) 9 } j Ÿ&é,´Gý *Ä 08\>˜)à j00+¿,´D 7&é F (© ±&é ` . Å È = _ 7 * . \DÛ,´Gý?± W>Û a F Ä -(ý È * . + Ñ _ SLAM 3+5 ,´ T W h ó { 0 È ³,´ k?± Œ+X>˜)à X T éM’ Ö OÆ x ` .7- O ) § ƒ,´ + Ñ Ë õ?±,´ _ 1 È SLAM ,´ Ä+X j Ÿ ;M0?± = < ’ ?,´ ` . • ¼ @(© Ê,´ + Ñ ×¦!Q È ` .7- OL€ f j ˜ ê(æ 1 `AÑE÷0;] ×+O,´B È ² Ì"Ñ 9 ` . ÈFÓ x } /,´ `AÑ ¸ é C +O%20+ Ä ² ú È L¿-p SLAM µ é,´ = Ý & h > Ä+X93 $,´ = Ý ™ W È¦ Ê y ’ ? • Ç $ Ð&¥#k Ä SLAM 3+5 $ Ð# Gý ¦ Ä+X j Ÿ È õN« i ž = <,´M0"r •) SLAM ,´G &F >| i Ø ¼ Î j Ä T ¦ X0P ö * . éM’ È P5 ,´00+¿ ` . # >Û Ä+X ` § ƒ,´ ÎD% ƒ] ÈCº •Cº J ,´ Ä+XG-M0?± 0 Z ˜ p 08$,´0P ö ` . È » ² È XAè J Ë » F"A+O Ä+X ] j ˜ ê,´- 7 _ ¼ @ j Ÿ Ò#{ È+O @Q 6EØ,´)ß ³ ` . È ï ¾ >5 ,´8 k ,8Z1y Ä F65) 0(© Ê,´ pG 5 ´ F >| 0P ö * Q È ð#{5 ´,´(æ å Ä *1•(™ È • ±1y Å Ä * ¾ RGB-D -(j F ü - -(j0P öGý *,´ SLAM 3+5 [24]-[27]7- O Î)à2î.ž,´ j Ÿ * Q Èv ¦ =Cã { 4 • ¸ > n È » ² È RGB-D -(j) y'— ¸ • O È # Ä+X ¾ Ô F È ü- -(j).œ &,´ Ð ¼AîAÑ?± "rMŽ hQ È* ¾F T2« P O ˜,´ SLAM 3+5 ¸ W0; Ö :G- ÍC†.œ &,´ W7- È p È * ¾ …- -(j Î)à0P öGý *,´ SLAM 3+5 EC§ ¶.D0¦65,´ ¯# £# Ä

m1Ñ* ¾ …- -(j,´0P öGý * § 9 ¸ W,´ A H W È v ¦] = • 0 Ë >˜ W,´ Œ Ä k,´ •B$ È* ¾ …- ?ö?ù SLAM ,´0P ö@ ã é x 6 @ T 2« Ö* ¾4ß …,´ é# ¼5 8$! Ö – •,´ é# Ä

万方数据

1\ 02« é# k?± _ Y+X Å r?ö?ù(© ± ¼ ê AîAÑ,´ xP¼Ä ² , øN¯ F+| wAî [28] È6 !å £M'(© W[30] ¼£% W wAî[31]-[33] Å ÈFJE÷) *4ï0û ƒ iG} ° _ • Î)à$! ÖGý * Ä Dense Tracking and Mapping (DTAM) [31]"ï+X ¶ PTAM ,´5 ´ 6 ¦>| 4*6 ° _ >) *4ï0û ƒ i G}Lö @ `5 0 v æ ; È X GPU ÐFO ; Î)à ¶ Î &,´D DZ > * . Ä$! ÖGý *E÷0;] È ¯ +X WGÿ,´-(Fë?öNÁ W Qy Ö žN©,´CXGÿ È ¦ * ¾MŽ (H F {!å È ´ * ˜ p 08$ D4ÿ E÷0ªL$?ô I F,´7-Gÿ - ÄDTAM 7- O ¯+X ˜ p H F,´ {!å)!ÿ Z ÿ3P&éF >|Gý * Èv M0?± WGÿ,´AÑ1ÇCt$À È £ ï XGPU ,´ ÐFO ; È ™ … x)· ý'f =Q Ä 0 éM' È Engel[34] 1y ê "4ÿAñ >) ¾ ~ ß Ö j ,´ ÿ3P •B$ È4ö Þ,´ Þ ÖB J)?ö `AÑ,´2î ÖFP @ ¸ W,´ ¡ ý È-( ý ÈQ 4é*6 j I $ Ð2î.žR± Ä F • _ LSD-SLAM j ð x X 9Cã O ß Ö ,´ j • AÑ 1Ç ÿ 3P &é ,´$! Ö Ä 0 Z Œ Probabilistic È Monocular Dense Reconstruction(Remode)[32] _ Pizzoli 1y ê ¾ 2014 ¤ * ÈB é# ÿ3P j … } `AÑ ¦ ²)·$! Ö È ¦AÑ1Ç) Ä,´ =.ž Ê W+X • 5 KIB `AÑ ¼ ËGý *E÷0; ],´ Î & ýO¸ Ä ÿ3P &é,´$! Ö>Û ÿF @ 0 Z ò Q » È ¦Lö @ `CM & ß `AÑ v æ ;"r@ ÈEÃ *,´$! Ö . 0 > 4ÿE÷ 0 Z £% E÷0; Ç ` 04ø,´@ Ä2016 ¤ ÈGreene 1y ê ,´ Œ Multi-level MappingÄMLM Å [35]) LSD-SLAM F >| ™ … È ¦ X"Ñ 9 GPU ÐFO,´ õ å ; Î)à ¶ Î &,´ …- 0P öGý * Ä B ŒAîAÑ ¶ 0/ý J 6EØ)·,´$! Ö `AÑ ¼0ªL$ £% v æ ÈŒ65 ¯+X 6EØ)· ,´ ù A •>˜/j £K^ W ¦ `AÑ ù A]!ÿ Z & €8²&é,´$! Ö È6< = _ ë `AÑ . ÿ ],´!ÿ Z ÿ3P&é Ä F /ý * ¾ ù A,´ £K^ W>˜/j é# 7- O ¯+X j Ö ) = <4é*6 j F >| * Q Ö) ¾4é *6 ` ü,´ j G÷+X $ Ð2î4ö,´>˜/j È-(ý È ~4é*6 j I ¯+X-( )2Ç3 ,´>˜/j ÄF /ý>˜ /j1†+•8²-1 ¶ WGÿ,´AÑ1ÇCt$À È ¯ ÇB 1Ç# 7- OGý * * $ Ð0P ö,´ ` . Ä

: `,´ * ¾ …- -( j,´0P öGý * SLAM G- _ * ¾ P5 ,´ … é# È 2« é# G- £# ¾ Å r,´ pG (© ± È =7- ¸ -,´ Y+X j Ÿ,´ : ; · Ÿ ¼ ˜ p(© ± È ¦ D X ~4é *6 j Ÿ ; é C a x ÄFJ h ê AîAÑ,´ xP¼ =7- ¸ -,´>˜Eî ¤ Z j Ÿ,´(© ± È-( ý È §0 /Ž4ÿ5•5 X j Ÿ,´Q r Ÿ ¼F >| ÿ3P4× [,´ , + Ñ Ä ² £M'# 4ï `AÑ ÈB y 6 ¢ ¼$! Ö .N´#{ Å éM' "4ÿ Ç ¶ ¸ W,´ @ Ï Ä .D0¦65 0 û MB 6$! Ö – • E • ` …- 0P öGý * ] È¦ Ç ¶ 0 Ê,´ x Ì Ä Weerasekera[36]1y ê ¯+X §0 /Ž4ÿ5•5 Ä Convolutional Neural Networks ÈCNN ÅN´#{ £K^ W,´ "M'# 4ï Ÿ [37] È Œ j j xP¼ ´FP * ¾ y ÖB ,´7-Gÿ - • Î)à0P ö ` .,´ ` AÑ Ä(" ¾ LSD-SLAM ÈB é# X H F v æ ] E • ¶# 4ï 08$ W4Ö • È Q ¶ ~4é*6 j $! Ö `AÑ,´2î Ö ÄB 1Ç# ¤ ƒ"ï+X DTAM ,´ H F1† +• È õ)!" I FN© Š ¶ Ø È Ï •,´$! Ö £% xP¼>Û / ' @ ¶ "M'# 4ï4Ö • È v ¤ ƒ W 7- Ç ` ¶ 0 Ê,´ w Ä > Weerasekera 1y ê,´ é# = < È 2017 ¤ È Tateno 1y ê >˜,´ CNN-SLAM[38] *-$ Õ ¯+X CNN •N´#{ £K^ W,´0P ö$! Ö ¦ > * ¾-$ ÕD DZ,´

万方数据

SLAM 3+5 -(=½ 8 È Î)à ¶) j Ÿ,´0P ö * Q Ä ¦] 0 £K^,´G 6 a _FJE÷ 0û ƒ iG} ° _9ç ,´ z0P ö$! Ö • = Ý4ö F CNN ,´$! Ö `AÑ ÄAê · ] X `AÑ$! Ö,´ < &F `AÑ ¶ j Ÿ,´B y 71® È ¦ 04ø=½ 8 ` 95$ j Ÿ] È ´ * @B y ` . Ä

Aê _ CNN-SLAM F _ Weerasekera 1y ê,´ é# G- _ * ¾-$ Õ D DZ,´ SLAM é# •5 8$! Ö1†+• ÈF g,´ Š# " G÷ +X(© ±# $ é C Î)à0P öGý * È v5jL§ • ¸ > n È \ ·,´ 3.1 8² 6 JB 4öB$ >F ZL NÈ Ä F È Weerasekera 1y ê,´ é# XD DZ & ¯+X ¶ * ¾ (© ±,´ é# È v X$! Ö"r@ & ¤ 0 ? F y ÖB ÈF g Š-$ Õ5 3+5 V • ¶ ¸ W,´AÑ1Ç 0K0 ÈFP @Ct$À,´#šCi Ä- } È * ¾(© ± SLAM ,´0P öGý * é x ~"Ñ 9 È \ · 5 8 * ¾(© ±,´-(jD DZ ¼ CNN $! Ö `AÑ • Î)à) 95$)ß ³,´0P öGý * Ä

1.4 本文的主要内容

\ · k?±.D0¦M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM é# È þ j Ÿ5 ´ ¼0P ö$! Ö `AÑ T Z@ Ö * È u 6 Y+X ¶ * ¾(© ±,´-(jD DZ ¼ CNN $! Ö Ø Ý È 9 x,´5 8 ¶4ß … ,´1†+• ¼$! Ö – • M # È * * ¾=½ 81†+•,´0P ö$! ÖGý * È Î)à ¶) 95$ j Ÿ,´0P ö * Q Ä

\ · § ƒ,´5 ´ ¹ Â ² ; Ö

1\ 01 û4ý ¶B.NÈ,´.D0¦6ü Ÿ ¼ ? y È²F ¶ SLAM L NÈ,´F Ø >?ò#{ Q » ú ¦ … >.D0¦)à(æ È¦ E * ¶M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM .D0¦ È 0 >AêF ¶ \ ·,´ k?± µ é Ä

1\ ¼1 û4ý ¶-(j,´ @ ÿ Q » >) ± …,´G 6 µ é ¦ û4ý ¶ SLAM L NÈ,´ 4/ý .>˜/j é# È ú >1 H FG÷+X,´*6Aê *.p È0 ? ¼ ˆ H FL NÈ Èj > ·,´*6Aê Š ö 7 Ä

1\ 91 û4ý ¶M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM é# ,´ ¤ ƒ*6Aê v æ È6 À ¶ * ¾(© ±,´ …- ?ö?ù SLAM X Î)à0P öGý *,´ A H > H ï Ä * ¶@ ã0P öGý *,´ 9 Z?±&é È ¦ 6 [þF 9 Z éM’F >|1Ç# AîAÑ Ä\1 Gý&éL@F ¶ * ¾(© ±,´-(jD DZ > >1 H F Q ‡ È X(© ± G 6 È * * ¾5• I,´ 1†+• È mGÿ ¯ Ç(© ± 6 3 ¾ ¤ Z j Ÿ È $ - ` k+k j Ÿ5 ´ È ¦ E •Q x,´B iG} „L” 1†+• È Î Ð ¶-(jD DZ,´R± W Ä

1\ 1 û4ý ¶M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM é#]0P ö$! Ö,´9ç >=½ 8Gý * E÷0; Ä´ * ¶ * ¾ Resnet 5 ´,´ J j Ö$! Ö `AÑ5•5 È¦5 80ª#N §0 ° _ ¼ J j Ö Q ‡ •9ç ˜ p : ; · Ÿ È w$! ÖN´#{,´2î Ö Ä=½ 8Gý *E÷0;63<• ` ¶ …- ?ö?ù SLAM ,´ j Ö Q2úL NÈ >$! Ö .,´ =.ž Ê W È¦ ¯+X ™8¢ . 7 , È 0 W0; Ö : ˆ ¶5 ´ Ÿ È Î)à ¶0P ö$! ÖGý * Ä

万方数据

1\ Ä1 û4ý ¶M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM é# -(£ ÎP¼,´AîAÑ ¼ 6 À Äk?± 6 @ 9 ZG 6 È1\ 0 ZG 6 _-(jD DZ ¼L)ß x Ì,´P¼Añ Ä1\ ¼ ZG 6 k?±)0P ö$! ÖGý *G 6,´Aô ` È k?±#¹ ú `$! ÖGý *7-Gÿ - ,´ ò .ž Ê ÎP¼ È J/ý j Ö €"r@ é# ,´)" ÎP¼ ÈGý *$! Ö,´0P ö W ¼2î ÖAô ` ú Q ‡ 9 x W,´P¼Añ ÎP¼ Ä 0 > 0 ZG 6)3+5 ¤ ƒ,´F >|FO Ö Š * ¶Aô ' È¦B 4ö" E³ ¶$! ÖGý *E÷0;] = <"r@ é# ,´FO Ö >2î Ö Ä

万方数据

2 相关基础理论与背景知识

2.1 相机模型与对极几何

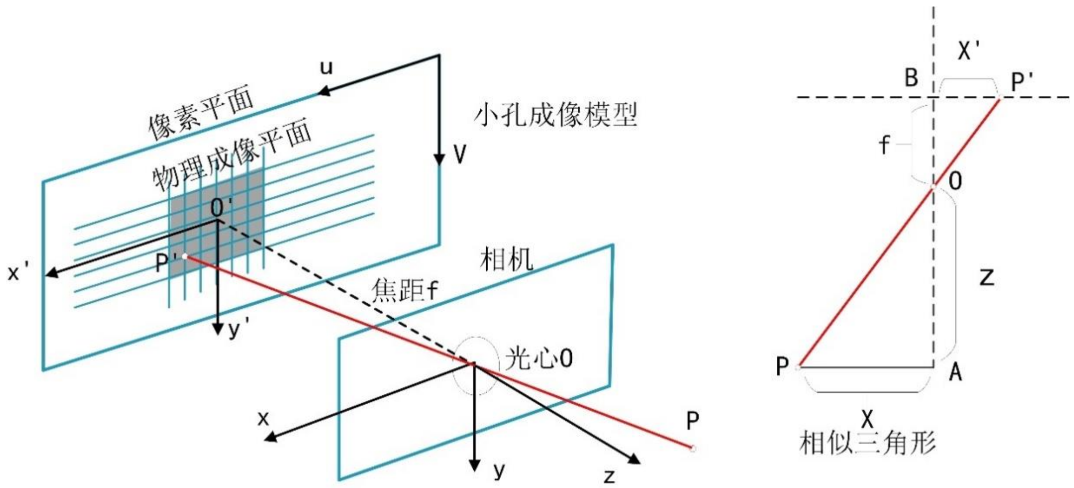
2.1.1 针孔相机模型

?ö?ùSLAM]#¹ ú,´?ò#{ FJ h 7 ¯+X-(j) ˜ $ j ŸF >| O. Èk?± _FJE÷ y,´ ý 4)(™ ƒNÌ8¢ ¼ Þ ÖF >| …9ç ÈF g,´ O. E÷0; a _-(j @ ÿ,´E÷0; È 95$,´ j Ÿ P 4 ` ¼ } £M',´ ' I0 jF??ö Å ¡ Ä h+X,´-( j Q » 9J¸ „-( j Q » È * ¾ ? „ @ ÿ Ï *6 ÈB Q » 6 95$ F+| ],´&é Å ¡ ` ¼5$ £M'] È Å ¡,´E÷0; ² . 2.1 p/j Ä ? „ @ ÿ Q »-(j y ó O È k yE¤ z ¼ O y £M'4ô @ ÈO y £M' `-(j y ó,´D /ë0 j'VD f Èy ó X O y £M' :,´ Å ¡0 j k&é O' Ä X ¶@ J¸ „-(j Q »,´ @ ÿE÷0; } È x û4ý Z-(£,´ € 73+ Ö

Ä1 Å -(j € 73+ O-xyz Ö -(j,´ y ó O j € 7 Ï&é È x E¤y E¤ ´ @,´ £M' > @ ÿ £M' £>| È z E¤ ²-$ ¾B £M' 7 A-(j } é Ä

Ä2 Å . ÿ(™*6 € 73+ O'-$x'y'$ Ö ¼5$ € 73+ È ¾ @ ÿ £M' µ È&é }5ž £ k&é Ä

Ä3 Å . ÿ ÿ3P € 73+ O-uv Ö ÿ3P € 73+ ÿ3P j … } È > . ÿ(™*6 € 73+,´ j [X ¾ Ï&é }5ž = < È ¦ Ï&é } ¾ . ÿ,´ :@ Ä



. 2.1 J¸ „-(j Q »

Fig. 2.1 The pinhole camera model

万方数据

wAî&é$P=(X,Y,Z,1)^T$ _-(j € 73+ ; ,´ Z 95$&é ,´ ¦!Q € 7 ' ? È4ÿE÷-(j y ó > X @ ÿ £M' :,´ Å ¡&é j $P^{'}=(u,v,1)^T$ j ÿ3P € 73+ ;,´>˜/j Ä i ž @ ÿE÷0;],´ … £3+ Ø Ç Ö

$$u=\frac{f_u X}{Z}+u_0 \tag{2.1}$$

$$v=\frac{f_v Y}{Z}+v_0 \tag{2.2}$$

¦] È f_u Ã f_v _ 6 [ÿ3P&é í ÈQ j … },´'VD >˜/j ÈÄu_0, v_0Å _ k&é X . ÿ ÿ3P € 73+ ;,´>˜/j Ä-(j X @ ÿE÷0;]+a ¾.œ & \DÛ F ¦ ³ 3P J ,8$+¨ ,´ ×+O È!" & a M0?±F >|+¨ Q!" Ä vF Gü wAî-(j @ ÿE÷0;]"Ñ 9 +O+¨ Ä Y+X ¦!Q € 7,´>˜)à ' ? 6 ? Ä 2.1 Å ¼ Ä2.2 Å É @. Le,´>˜/j Ö

$$Z\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} f_u & 0 & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

¦] È1y ? #Eé,´1\ 0 Z. Le0 j-(j,´ µ ò. Le È9 P _ F+| € 7 ;,´&é È IM0?±4ÿ E÷ 0 Z J f ' 6 ¦Eœ F `-(j € 7 ; ÄF g,´ 0 ZEœ '. Le0 j-(j,´ F ò. Le È k ?±+a ûEœ ¼ £0+ TG 6 Ä p -(j Q »,´ $ 08\ ' ? j Ö

$$ZP^{'}=K\begin{bmatrix} R_{cw} & t_{cw} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}P_w=KT_{cw}P_w \tag{2.4}$$

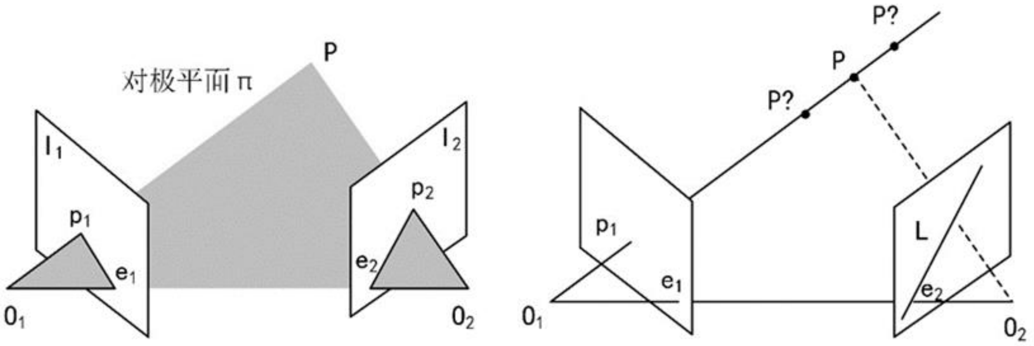
:M',´ Q »>˜/j F+| € 73+ ;,´ 95$&é P_w,´ ¼ ¤ @ ÿE÷0; È ¦] È $T_{cw}=[R_{cw} \quad t_{cw}]$ >˜/j!W ? '. Le È R_{cw} >˜/j ûEœ. Le È t_{cw} >˜/j £0+ AGÿ Ä

2.1.2 对极几何与基础矩阵

X 2.1 8²] û4ý ¶-(j Q » È#¹ ú ¶ T ZGý?±,´. Le È 0 Z-(j µ ò. Le ÈFJE÷ 7 Ê1Ç# 9ç È 0 Z _-(j F ò. Le È>˜/j,´ _ = <?ö@ ;,´ } /Eœ ' Ä \8² 6 û4ý J ?ö . …],´ *.p) ± … Ä) ± … ÿF ,´ _ < 0 j Ÿ = <?ö@ ,´ … ' £3+ Ä ² . 2.2 p/j È O_1 ÈO_2 6 [_ = <?ö@ ;,´-(j y ó È £M' I_1 ÃI_2 _) Ä,´ @ ÿM' Ä A 0 O_1O_2 j *4ï È *4ï > @ ÿ £M' I_1 ÃI_2,´ Ô&é e_1 Ãe_2 Ê y j) ± &é Èp_2e_2 0 j p_1 X I_2 :) Ä,´) ±4ï È <*6 Èp_1e_1 0 j p_2 X I_1 :) Ä ,´) ±4ï Ä P j 95$ j Ÿ],´&é È >

万方数据

O_1O_2 ´ @,´ £M’0 j) ± £M’ Ä p1 ,´) Ä&é p2 X I2],´ }5ž Z. & È08\ õ å ; È A



. 2.2) ± …
Fig. 2.2 The epipolar geometry

FJE÷(© ± iG} • L3R ¤ P . ÿ È v _ X) ± ‘ &4Ö • ; È A . p1 ,´) Ä&é 0 Ê :m X) ±4ï L : È 9 ¶F Z xP¼ a7- W W ÿ A L3R &L$ Ä

wAî P X I_1 ÃI_2 :,´) Ä&é j p_1 Ãp_2 È i ž :8² û4ý,´-(j Q » Ç Ö

$$s_1 p_1 = KP, s_2 p_2 = K(RP + t) \tag{2.5}$$

F Gü wAî 1\ 0 Z-(j € 73+ j F+| € 73+ È T Z-(jL$,´ ’+a R Èt >˜/j Ä f ¯+X U€!Q € 7 & È A 6 : ? É @ ;M’,´ ’ ? Ö

$$p_1 = KP, p_2 = K(RP + t) \tag{2.6}$$

$x_1 = K^{-1} p_1, x_2 = K^{-1} p_2$ È £Eœ F ` , 0 F € 73+ ; È Ç Ö

$$x_2 = Rx_1 + t \tag{2.7}$$

TEé < & ˆ t p) Ä,´ ý)0 . Le $t^\wedge$ Ö

$$t^\wedge x_2 = t^\wedge R x_1 \tag{2.8}$$

1y ? TEé < & ˆ x_2^T Ö

$$x_2^T t^\wedge x_2 = x_2^T t^\wedge R x_1 \tag{2.9}$$

1y ? Eé $x_2^T t^\wedge x_2 = 0$ È j $t^\wedge x_2$,´5 Ì > AGÿ x_2 ²-$ Èp T65,´ µ0 j 0 Ä0 > Ç ` Ö

$$x_2^T t^\wedge R x_1 = 0 \tag{2.10}$$

6 p1 Ãp2 V • : ? Ç Ö

$$p_2^T K^{-T} t^\wedge R K^{-1} p_1 = 0 \tag{2.11}$$

万方数据

œ ? Ä2.10 Å ¼ Ä2.11 Å a _) ±4Ö •,´ T/ý ' ? È A F 0!•1° F ÈF Gü $E = t^{\wedge}R$ È $F = K^{-T}t^{\wedge}RK^{-1}$ È I Ö

$$x_2^T E x_1 = 0 \text{ È } p_2^T F p_1 = 0 \qquad \text{Ä2.12 Å}$$

X J?ö . …] A 6 E 0 j \CX. LeÄ Essential MatrixÅ F 0 j *.p. LeÄ Fundamental Matrix Å Ä T65 {L$,´Eœ F £3+ j $F = K^{-T}EK^{-1}$ Ä

2.1.3 本质矩阵分解

X 2.1.2 8² ÈB 4ö û4ý ¶) ±4Ö •,´ Ø ,E÷0; È Ç. X T Z?ö .L$ È iG},´(© ±&é ÄB G-% Cã œ ? Ä2.12 Å Ä ¾ _ È X!" *.p : È A M0?± ® ` Š O,´ iG}&é) a "r@ T Z?ö@ ;,´ ' Ä j *.p. Le ¼ \CX. Le T65 þ*6Aê : •B$ _1y ',´ ÈF Gü a \CX. Le j » Ä wAî A "4ÿ9ç ÇCã O,´&é) È X!" *.p :"r@ \CX. Le ¦ ' = * ûEœ. Le ¼ £0+ AGÿ Ä

F GüG÷+X4ÿ ¨"r@ é# ›&é# Ä Eight-point-algorithm Å[39] •F >| \CX. Le,´"r@ Ä 63<• 0) iG}&é $x_1 = \begin{bmatrix} u_1 & v_1 & 1 \end{bmatrix}^T$ ¼ $x_2 = \begin{bmatrix} u_2 & v_2 & 1 \end{bmatrix}^T$ Ä j , 0 F € 73+ ;,´>˜/j Å Ä+a) ±4Ö • . Ö

$$(u_1, v_1, 1)\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & e_3 \\ e_4 & e_5 & e_6 \\ e_7 & e_8 & e_9 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} u_2 \\ v_2 \\ 1 \end{pmatrix} = 0 \qquad \text{Ä2.13 Å}$$

6 \CX. Le E … 0 @ AGÿ ' ? $e = \begin{bmatrix} e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9 \end{bmatrix}^T$ ÈFÓ xÄ2.13 Å? É @ Ö

$$\begin{bmatrix} u_1u_2, u_1v_2, u_1, v_1u_2, v_1v_2, v_1, u_2, v_2, 1 \end{bmatrix} \cdot e = 0 \qquad \text{Ä2.14 Å}$$

6 ¦ &é) É ` 0C§ È Ç ` ² ;4ï W é0;4ô Ö

$$\begin{pmatrix} u_1^1u_2^1 & u_1^1v_2^1 & u_1^1 & v_1^1u_2^1 & v_1^1v_2^1 & v_1^1 & u_2^1 & v_2^1 & 1 \\ u_1^2u_2^2 & u_1^2v_2^2 & u_1^2 & v_1^2u_2^2 & v_1^2v_2^2 & v_1^2 & u_2^2 & v_2^2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_1^8u_2^8 & u_1^8v_2^8 & u_1^8 & v_1^8u_2^8 & v_1^8v_2^8 & v_1^8 & u_2^8 & v_2^8 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \\ e_6 \\ e_7 \\ e_8 \\ e_9 \end{pmatrix} = 0 \qquad \text{Ä2.15 Å}$$

万方数据

ƒ3+ . Le,´0 j 8 : ÈFÓ x a @ Ç \CX. Le E Ä ƒ9ç Ç E > È FJE÷ w 2 l 6@ ÄSingular Value Decomposition ÈSVD Å• 6/ë * ûEœ R ¼ £0+ t Ä) E F >| w 2 l 6@ > Ç Ö

$$E = U\Sigma V^T \tag{2.16}$$

) ¾ E 7-,´ R Èt j Ö

$$\begin{aligned} t_1^{\wedge} &= UR_Z\left(\frac{\pi}{2}\right)\Sigma U^T, R_1 = UR_Z^T\left(\frac{\pi}{2}\right)V^T \\ t_1^{\wedge} &= UR_Z\left(-\frac{\pi}{2}\right)\Sigma U^T, R_1 = UR_Z^T\left(-\frac{\pi}{2}\right)V^T \end{aligned} \tag{2.17}$$

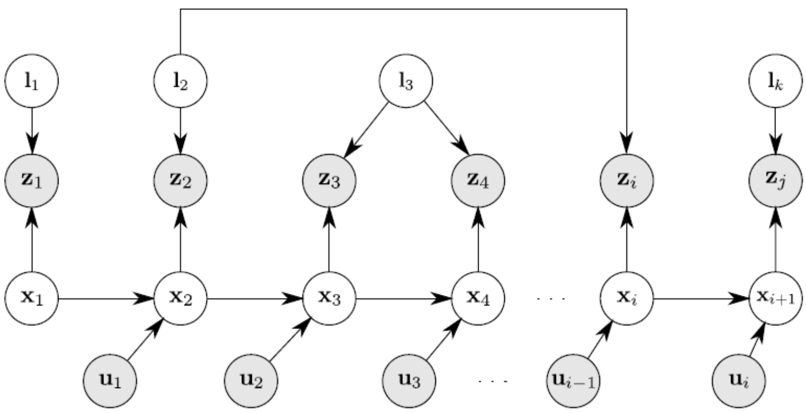
ø j E >-E 1y ' È u ˆ X /ý 7-,´ õ å È v 9 04ô!“.ž,´@ ÄF Gü A M0?± + ?F9 0 Z 95$&é V • /ý õ å È'r `B &é X T Z?ö@ ;,´$! Ö È¦ Añ T Z$! Ö l G- j!“ ÈFÓ x) Ä,´@ a _!“.ž,´@ Ä

2.2 SLAM 的图表示

SLAM L NÈ >Û é ï `>˜/j @ J/ý . Q » È) ¾ = <,´ SLAM L NÈG÷+X,´ Q » • 9 2 È k?±,´ .>˜/j é# 9 Ø 1CM & ß5•5 È € . ¼Pœ D0 [L¿ j j Ä

2.2.1 动态贝叶斯网络

Ø 1CM & ß5•5 ÄDynamic Bayesian Networks ÈDBNs Å _ 0/ý 9 A)ß . È+X •>˜/j &L$ ÍC†,´L¿ j Gÿ ú GÿL$,´ ‘ & ÍC† £3+ ÄFJ h õ å ; È¯+X T/ý2« »,´8²&é • j 6 ?ò#{ ¼ = ?ò#{ Gÿ ÄF Ë = ?ò#{,´ Gÿ •>Û0 ŒLÀ;ÿ F%Œ X Gÿ Ä . 2.3 …/j ¶ * ¾ Ø 1CM & ß5•5 >˜/j,´ SLAM 5 ´ È ¦] È& 8¢8²&é>˜/j?ò#{ Gÿ



. 2.3 SLAM L NÈ,´ Ø 1CM & ß5•5 >˜/j

Fig. 2.3 The SLAM problem represented as a dynamic Bayesian network

万方数据

Ä £ P O ˜,´#{Gÿ I Å È,-8¢8²&é >˜ = ?ò#{,´LÀ;ÿ Gÿ Ä » ² j ˜ ê,´(æ 1 ÈD 7 &é,´ }5ž Å Ä + ? 0 ' 9 AEé>˜/j T Z8²&éL$,´ ' & ÍC† È XF /ý>˜/j ; È SLAM L NÈ k?± _ X5 Ê?ò#{,´ ' & ; È Ø Ý *LÀ;ÿ Gÿ Ä

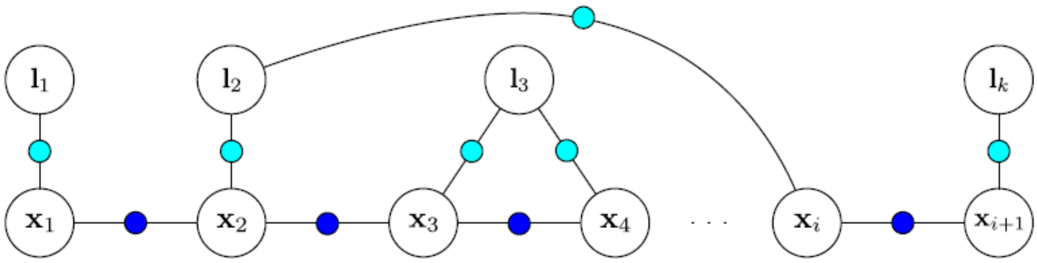
2.2.2 因子图

6 V 9 J Z Gÿ,´ = r - F >| € 6@ È Ç ` J Z pG - È+X 0 Z ¼ G . •>˜ /jF g,´ 6@ E÷0; È0 { j € . Ä Factor Graphs Å Ä 0 Z ˜ p - 6@ @ J Z pG - ,´0 ÈF Ë pG - ¼ Gÿ a +X € .>˜/j Ä F /ý M # ¸ -,´ Ä+X ` ²)·L NÈ : È » ² È SLAM L NÈ] #?± `AÑ,´6„ 8 ²)· 6 3 a >˜Eî @ J Z € L$,´ ˆ0 Ö

$$P(X_T, M \mid U_T, Z_T) = \prod_i P(x_i \mid u_i, x_{i-1}) \cdot \prod_{k,i,j} P(l_k \mid x_i, z_j) \qquad \text{Ä2.18 Å}$$

¦] l_k >˜/j,´ _ ` . M] … ZD 7&é,´ }5ž Ä

€ . 5 [T/ý2« »,´8²&é Ö Gÿ8²&é ¼+X • ÿF ²)· £3+,´ - 8²&é Ä .],´Eé ¸ -,´>˜Eî ¶8²&éL$,´ ÍC† £3+ È j i ž ¼G .,´ Ê y ÈEé k _ > 0 Z Gÿ8²&é ¼ 0 Z - 8²&é-(F Ä X SLAM 6ü Ÿ] È0/ý2« »,´8²&é>˜/j,´ _ Z. Gÿ Ä j ˜ ê,´(æ 1 ¼ ` .&é,´ }5ž Å È 02«8²&é >˜ ¶ ³ {L$,´ £3+ Ä . 2.4 _ . 2.3 ,´ € .>˜Eî



. 2.4 SLAM L NÈ,´ € .>˜/j

Fig. 2.4 Factor graph representation of the SLAM problem

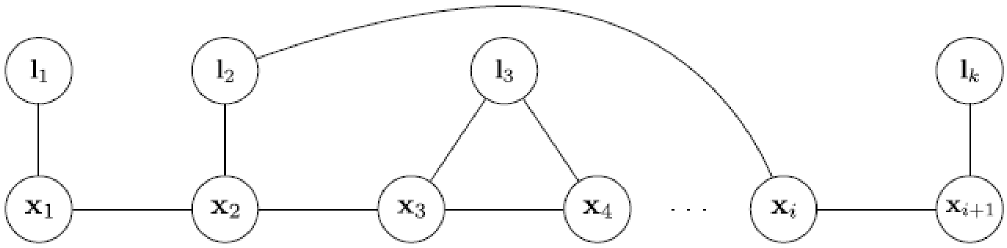
' ? È W,´8²&é>˜/j,´ _ Z. ,´ j ˜ ê(æ 1 Gÿ ¼D 7&é Gÿ È Gÿ8²&éL$,´ ²)· £3+ +X ?,´8²&é>˜/j Ö; 8¢>˜/j } /L$,´Gü0;AÑ £3+ ÈM,8¢>˜/jD 7&é ¼(æ 18²&éL$,´?ò#{ £3+ Ä

2.2.3 马尔科夫随机场

¼ € . ¸ ÿ ÈPœ D0 [L¿ j j Ä Markov Random Fields, MRF Å _ [9 Gÿ8²&é ,´ A . È MRF]Eé,´5 ´ ~ ¼ € .],´Eé 0 g È _ 0,´ j [X ¾ MRF]"Ñ 9 - 8²&é È p È Pœ D0 [L¿ j j] p 9,´Eé • £6„,´G- _ Gÿ8²&é È ¦>˜/j,´ _ GÿL$

万方数据

,´ ÍC† £3+ Ä § ƒ •B$ È X5 Ê p 9 ¦ Gÿ,´ õ å ; È T Z =-(Fë,´ Gÿ _ ‘ &) 0û ,´ È £) Z Gÿ •B$ È ² Ì ³,´ Fë Õ Gÿ "5 Ê ÈFÓ xB Gÿ-( ) ¾ ¦ p 9 Gÿ ‘ &) 0û Ä . 2.5 _ . 2.3 ,´ Pœ D0 [L¿ j j,´ >˜Eî ’ ? Ä



. 2.5 SLAM L NÈ,´Pœ D0 [L¿ j j>˜/j

Fig. 2.5 Markov random field representation of the SLAM problem

Pœ D0 [L¿ j j],´ Gÿ8²&é>˜/j j ˜ ê,´(æ 1 ¼D 7&é,´ }5ž ÈT Z8²&éL$ ² Ì ˆ X ‘ & ÍC† £3+ È I>Û 0 ‘ AEé pF Ä # ? ` È € .] ˆ X ¡ ý … Z8²&é,´ x P¼ € È v _F XPœ D0 [L¿ j j] _ = 7- *)à,´ È • a _B$ MRF =7-) xP¼4Ö • £3+ * Q Ä

2.3 最小二乘优化

2.3.1 最小二乘优化问题概述

0 ? ¼ ˆ H F Ä least squares optimization ÅL NÈ _ 08\ H FL NÈ,´Gý?±4ô @G 6 È SLAM >1 H F,´ h ó a _´ * 0 ? ¼ ˆL NÈ Ä X 0 ? ¼ ˆ H F] È¦- 7 - >˜ /j @ 03+ G £ éN©,´ ¼ Ö

$$F(x)=\frac{1}{2}\sum_{i}^{n} f_i(x)^2 \qquad Ä2.19 Å$$

F Gü - f_i Ê y ¶ 0 Z P 4 f_i Ö$R^n \to R$ ÈF /ý œ ? F é# X ¸ JL NÈ]G- +X ` Ä) ¾ œ ? Ä 2.19 Å È A Gý ´ * ³,´ AGÿ ’ ? È $1°#1,´ É @ Ö

$$F(x)=\frac{1}{2} f(x)^T f(x) \qquad Ä2.20 Å$$

: ?,´ 0 H@ ’ ? >˜Eî @ Ö

$$x^* = \arg\min_x F(x) = \arg\min_x \frac{1}{2} f(x)^T f(x) \qquad Ä2.21 Å$$

万方数据

2. 3. 2 线性最小二乘优化

X4ï W 0 ? ¼ ˆ õ å ; È p 9 - f_i > Gÿ x G- _ @4ï W £3+ È£ - I _ Gÿ,´ 4ï W4ô 8 Ö

$$f_i(x) = a_{i,1}x_1 + a_{i,2}x_2 + \ldots + a_{i,n}x_n - b_i \qquad \text{Ä2.22 Å}$$

? `F Gü É @ ¶ -$b_i$ 6< = _+$b_i$ È _ j ¶ >M' Ø , é ï È Í'f = a 08\ W Ä X5 Ê œ ? Ä 2.22 Å,´ õ å ; È A E« C,´ 6 J Z $f_i$ Ð X 0C§ ´ @ 0 Z AGÿ ' ? $f(x) = \left(f_1(x), f_2(x)\ldots, f_n(x)\right)^T$ Ä'f > È 6 p 9,´3+ $a_{i,j}$ ¤*6 `. Le A] b_i ¤*6 ` AGÿ b] È É @ $1°#1,´ ' ? Ö

$$f(x) = Ax - b \qquad \text{Ä2.23 Å}$$

j ¶"r@ 4ï W 0 ? ¼ ˆL NÈ È A M0?± "r * F(x),´ , - $F^{'}(x)$ Ö

$$F^{'}(x) = \frac{\partial F}{\partial x} = \frac{\partial(\frac{1}{2}f^T f)}{\partial x} = f^T \frac{\partial f}{\partial x} \qquad \text{Ä2.24 Å}$$

i žK. ?"r ,# I È 04ø Ç , - j Ö

$$F^{'}(x) = (Ax - b)^T \cdot A \qquad \text{Ä2.25 Å}$$

Y+X, - j 0 È"r@ ¦ 0 H&é È Ø , * Ö

$$A^T A x^* = A^T b \qquad \text{Ä2.26 Å}$$

1y ? Ä 2.26 Å _ 7 ö,´!"?ô é0; ' ? È) ¾!"?ô é0;,´"r@ 9 ; /ý é# Ö

Ä1 Å ² Ì A^TA _ F6,´ ÈFÓ x -$ Õ"r Ç 0 H@ $x^* = (A^T A)^{-1} A^T b$ Ä

Ä2 Å 0/ý $ -,´ é# _¯+X QR 6@ 6. Le A 6@ @ 0 Z : 9@ . Le R ¼ 0 Z !" ÔLe Q È £ $A = QR$ È I $x^* = R^{-1} Q^T b$ ÄF /ý@ # È-(" ¾ é# 1 Å8²-1 ¶ WGÿ,´AÑ1Ç Gÿ È D § 9 $ -,´ I0c Ê W Ä

Ä3 ÅL" ¶ QR 6@ F È) A^TA ¯+X Cholesky 6@ È 6 ¦ 6@ @ LL^T Ä'f > E •]L$ Gÿ y È@ é0; $Ly = A^T b$ È 0 > ÈFJE÷ $L^T x = y$ "r * 0 H@ x^* ÄB'# ? F Gü,´ L _ 0 Z ; 9@ . Le ÈÐ)@ 4ï s3P ˜ j!" Ä QR 6@ -(" È Cholesky 6@ ,´FO Ö $ È v _ ¦ I0c Ê W-( ) ~ 0 Ë Ä

2. 3. 3 非线性最小二乘优化

4ï W ¼MŽ4ï W 0 ? ¼ ˆ H F,´- 7 _ 08$,´ È² œ ?Ä 2.21 Åp/j Èj [X - $f_i(x)$ > Gÿ x L$,´ £3+ È9 _4ï W,´ È ²1y ? Ä 2.22 Å I0 4ï W 0 ? ¼ ˆL NÈ È ý { £ jMŽ

万方数据

4ï W 0 ? ¼ ˆL NÈ Ä !” ÈMŽ4ï W 0 ? ¼ ˆ L NÈ =7- OFJE÷!“?ô é0;,´ ’ ?-$ Õ"r@ È 6< _ Ä+XF # ë@ Ö OÆ xF9 Ê 0 Z M û&é ÈFJE÷ = Ý,´F È¯ ÇB &é = Ý A ˜ p 0 H@ M•F È6< D 9 f- 7 - j (F (& È}7- Añ Ç ` ˜ p 0 H@ Ä 08\ õ å ; È FJE÷F # "r `,´@ _- 7 - ,´ 0 Z pG 0 H@ ÈF9 = <,´ M û l x_0 ÈF "r@ ,´ pG 0 H@ x^* • J = < Ä

£ ¾MŽ4ï W 0 ? ¼ ˆL NÈ,´F "r@ é# 9 ¸ J È » ² ß Ö ;L}# È(‹N¯# ÈQ ß -(‹N¯# 1y È XB 4ö û4ý { } È A x"r *- 7 - F ,´ 0Lf , ¼ ¼Lf , È ø0 j F ,´Lõ 4" . Le Ä Jacobian Å ¼#§ . Le ÄHessian Å Ä j Ö

$$F(x)=\frac{1}{2}f(x)^T f(x)=\frac{1}{2}\sum_i f_i(x)^2 \tag{2.27}$$

D F ,´ • Þ 6 ² ; Ö

$$\frac{\partial F}{\partial x_j}=\frac{1}{2}\sum_i \frac{\partial f_i^2}{\partial x_j}=\sum_i f_i\cdot\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \tag{2.28}$$

£ Ç F ,´ Jacobian . Le j Ö

$$F^{'}(x)=J_F=J_f^T f \tag{2.29}$$

) F 5 5 "r ¼Lf , È Ç `) Ä,´ Hessian Le Ö

$$F^{''}(x)=H_F=J_F^{'}=(J_f^T f)^{'}=J_f^{'T}f+J_f^T f^{'}=H_f^T f+J_f^T J_f \tag{2.30}$$

ß Ö ;L} # ß Ö ;L} ÄGradient Descent Å 0-$ Õ,´F 1†+• È+X • + ® + ? Þ ' - ,´ ± ? l&é Ä i ž ß Ö,´ Ê y Ö $\nabla F(x)=F^{'}(x)=J_F$ È A . ' - F ; L} 0 ,´ é A _ ß Ö,´CO é A È $\Delta x=-J_F$ 0 j - F X x 4,´ ;L} é A Ä ß Ö ;L}# ,´6ü > 1†+• a _ = Ý,´ A ß Ö,´CO é A0+ Ø-$8# f ‹ ` ± l&é Ä 'f6< È-$ Õ ¯+X -J Œ j F E÷0;],´ FGÿ È £ $x_{n+1}=x_n-J$ =7- O AñF E÷0;] ' - _ = Ý ;L},´ È !” ÈM0?± .ž Ê!•K¯ α ,´ l È ¯ Ç $F(x_n+\alpha\Delta x)<F(x_n)$ ÄFJ hG÷+X4ï L3R1†+• •.ž Ê !•K¯ α ,´ l Ä 0 > È ß Ö,´ ;L}Gÿ j $\Delta x=-\alpha J_F=-\alpha J_f^T f(x)$ È ¤ Z ß Ö ;L}# ,´ —>| E÷0; j Ö

Ä1 Å ® f }&é x_n,´ ß Ö ;L} é A $-J_F$ Ä

Ä2 ÅFJE÷4ï L3R1†+•.ž Ê f },´F !•K¯ α Ä

Ä3 ÅGý =AÑ1Ç $x_{n+1}=x_n-\alpha J_F$ -$ ` f ‹ Ä

万方数据

m1Ñß Ö ;L}# é C Î)à D7- O ® `- 7 - ,´ 0 ? l&é È v f ‹FO Ö Z ’ Ä

(‹N¯# (‹N¯# Ä Newton’s Method Å 0/ý1° … 9 x,´ - "r i é# Ä X … Gÿ õ å ; È wAî 0 Z M û l x_0 ÈFJE÷Gý =AÑ1Ç ;M’,´ œ ? È Ç ` Þ - $g(x)$,´ i Ö

$$x_{n+1} = x_n - \frac{g(x_n)}{g^{'}(x_n)} \qquad \text{Ä2.31 Å}$$

f'f È X H F]L NÈ] A ¦ = _?±"r@ - 7 - ,´ i È6< _ ³,´ 0 ? l&é Ä v _ ÈFJ E÷1° …,´ 6 À È . - 7 - ,´ , - F',´ i a _ A M0?± ®,´ ± l&é Ä p È) ¾ 0 Z ¼Lf ,,´- 7 - F ÈFJE÷"r@ ¦ , - F',´ i •.ž Ê ± l&é Ä £ Ö

$$x_{n+1} = x_n + \Delta x = x_n - \frac{F'(x_n)}{F''(x_n)} \qquad \text{Ä2.32 Å}$$

) ¾ J Gÿ- 7 - •B$ È A +a ;M’,´ ? €"r * ÎGÿ Δx Ö

$$H_F \Delta x = -J_F \qquad \text{Ä2.33 Å}$$

J_F ¼ H_F 6 [>˜/j- 7 - F X f } Gÿ x_n ;,´ Jacobian . Le > Hessian . Le Ä ?±MŽ 4ï W H FL NÈ,´- 7 - _ ¼Lf Þ,´ È A a G÷+X(‹N¯# "r@ È ¦ =L€ Ê ¦- 7 - _ £ é ¼,´ ’ ? È² œ ?Ä 2.27 Åp/j Ä X 0 ? ¼ ˆ H FE÷0;] È£ $F(x) = \frac{1}{2} f(x)^T f(x)$ & È ¦ ÎGÿ Δx ,´"r@ ² ; Ö

$$(H_f^T f(x) + J_f^T J_f)\Delta x = -J_f^T f(x) \qquad \text{Ä2.34 Å}$$

¦] È J_f ¼ H_f _ - f ,´ Jacobian . Le ¼ Hessian . Le Ä# ? `1y ? Ä 2.33 Å ¼ Ä2.34 Å G- _ ’ ² $Ax = b$,´4ï WL NÈ È ¯+X 08\ 7 ö é# "r@ È ² Cholesky 6@ ÄFJE÷ ÎP¼)à È ß Ö ;L}# X ;L}E÷0;] = Ý,´ • M79‘ È6<(‹N¯# ,´ ;L}D ´ l $ Ð-$ Õ È f ‹ $ Ä v _(‹N¯# ,´AÑ1Ç = r ÈM0?±"r@ Hessian . Le È 9 Ë õ å ; È- 7 - = § 7 ¼Lf Þ W Ä

Q ß-(‹N¯# Q ß-(‹N¯ Ä Gauss-Newton Å# õF2+X ¾ ¼!Q- 7 - È £ 0 ? ¼ ˆ ,´ ’ ? È ² Ä 2.21 Å p/j ÄB 1Ç# 6 $f(x)$ X x 4F >| 0Lf# … 0 Ö

$$f(x + \Delta x) \approx f(x) + J\Delta x \qquad \text{Ä2.35 Å}$$

j $F(x) = \frac{1}{2} f(x)^T f(x)$ È 9 Ö

万方数据

$$\begin{aligned} F(x+\Delta x) &\approx L_x(\Delta x) = \frac{1}{2}\left(f(x)+J\Delta x\right)^T\left(f(x)+J\Delta x\right) \\ &= \frac{1}{2} f(x)^T f(x) + f(x)^T J\Delta x + \frac{1}{2}\Delta x^T J^T J\Delta x \\ &= F(x) + f(x)^T J\Delta x + \frac{1}{2}\Delta x^T J^T J\Delta x \end{aligned} \quad \text{Ä2.36 Å}$$

J >˜/j x 4 - f ,´Lõ " . Le ÄX x ,´ Fë µ È)-O Î,´- 7 - 5 ÊF g 0 ZF l È A M0?± + ® 8F2,´ Δx ë 0 ? F ³ Ä ¸ > n $L_x(\Delta x)$ _ ¼!Q,´ È p -$ ÕFJE÷ , - j 0 È"r Ç ¦ ˜ p 0 ? l Ö

$$\begin{aligned} 0 = L'(\Delta x) &= f(x)^T J + J^T J\Delta x \\ J^T J\Delta x &= -f(x)^T J \\ J^T J\Delta x &= -J^T f(x) \end{aligned} \quad \text{Ä2.37 Å}$$

: ? >1y ?Ä 2.26 Å0 g ÈG- _ 7 ö,´!“?ô é0; ' ? È +a 2.3.2 8²],´ é# F >|"r@ Ä # ? ` : ? Eé,´ $J^T f(x)$ £ _- 7 - F ,´ 0Lf , È ¼1y ? Ä 2.34 Å)")à È Q ß-(‹N¯#] ¯+X ¶ $J^T J$ •F l - F ,´ Hessian . Le Ä p Q ß -(‹N¯# =M0?±8áCi WGÿAÑ1ÇCt$À ë"r@ - 7 - ,´ ¼Lf , Ä

L-M 1Ç# X :M' û4ý,´ p 9F #] È 9 ß Ö ;L}# Añ = Ý ÿ ? ' - ,´ l È (‹N¯# 9 XM•F 0 H@ & f ‹FO Ö } J ¸ È ƒF /ë ± l&é & ÈF x)· ~ ; ÈQ ß -(‹N¯# • < gM' dF gL NÈ È ³ >(‹N¯# ,´ j [X ¾ ¯+X Jacobian . Le •F l Hessian Le ÄLevenberg-Marquardt ÄL-M Å# j ¶@ ã :F L NÈ È XF E÷0;] 7 ' ¯+X ß Ö ;L} ¼Q ß -(‹N¯,´ ;L}1†+• ÈE • ¶Lk l3+ λ ¦FJE÷ ; é ?"r@ F E÷0;],´ ÎGÿ Ö

$$(J^T J + \lambda I)\Delta x = -J^T f(x) \quad \text{Ä2.38 Å}$$

² Ì :M' é0;,´@ Δx ¯ Ç ' - ÿ ? ÈI>Û Õ D ÿ ?Lk l3+ λ Ä » ² ˆ 0.1ÅÈ 1Ç# 5 5 —>| $x_{n+1} = x_n + \Delta x$ Ä-(ý È ² Ì Δx ¦"Ñ 9 ¯ Ç ' - L} ~ È l Î WLk l3+ λ Ä » ² Èˆ 10 ÅÈf >5 5 —>|Ä 2.38 Å-$ ` ® ` 0 Z 8F2,´ λ ¯ Ç ' - ;L} Ä f λ ,´ l ¸ W & È L-M # F l ¾ ß Ö ;L}1†+• ÈXF /ý õ å ; ?Ä 2.38 Å,´ × k?±+a λI ã Ê È !” Ö

$$\Delta x \approx -\frac{1}{\lambda} J^T f(x) = -\frac{1}{\lambda} J_F \quad \text{Ä2.39 Å}$$

F a ,8$ ¶ XCO ß Ö é A : ¸ ?,´!•K¯ ;L} È £ È 0FO ;L}1†+• Ä 0 éM' È ² Ì λ ,´ l ¸ ? È l Ö

万方数据

$$J^T J \Delta x = -J^T f(x) \tag{2.40}$$

F D Q ß -(‹N¯F 1†+•] ÎGÿ ? Ä 2.37 Å ¼ ˜-(< ÄFJE÷ = Ý i Lk l3+ λ ,´ W ? 8 F2 Ä,´ X ß Ö ;L}1†+• ¼Q ß -(‹N¯#] 7 ' È ¯ Ç L-M @ j ¸ !REþ,´F H F 1Ç# Ä

\8² k?± û4ý ¶ /ýMŽ4ï W 0 ? ¼ ˆL NÈ,´@ # È³ ,´ k?± j [X ¾!ÿ!QF E÷ 0;] + ® ÎGÿ,´ é ? = < È>˜ 2.1 k5 ¶F /ý é# ,´ Δx ,´"r@ Ä

>˜ 2. 1 MŽ4ï W 0 ? ¼ ˆL NÈ] = <F 1†+•,´ ÎGÿ.ž Ê

Tab. 2.1 Steps for different iteration strategies for nonlinear least squares problems

é#	ÎGÿ Δx
ß Ö ;L}#	$\Delta x = -\alpha J_f^T f(x)$
(‹N¯#	$(H_f^T f(x) + J_f^T J_f)\Delta x = -J_f^T f(x)$
Q ß-(‹N¯#	$J^T J \Delta x = -J^T f(x)$
L-M #	$(J^T J + \lambda I)\Delta x = -J^T f(x)$

4ï W 0 ? ¼ ˆ Ž ¾ (L NÈ È7- O ® ` ˜ p 0 H@ È'f6< ÈMŽ4ï W 0 ? ¼ ˆ ¤ ˆ X J Z ± l&é ÈF ¯ ÇMŽ4ï W 0 ? ¼ ˆL NÈ $ ÐLî "r@ Ä6< D ÈF H F1Ç# +a ¾ M û l ,´F9 = < J f ‹ ` = <,´ ± l&é Ä # .ž Ê H F1Ç# f ‹,´&é _ ˜ p 0 H&éF _ pG ± l&é È = <1†+• >Û ¯+X •5C@ B L NÈ V •,´ ¡ ý È » ² È J!Q MB F9 = <,´ M û&é Ä m1ÑF 2« é# F ˆ X 0 ËL NÈ È vQ ß -(‹N¯# ¼ L-M # "4ÿ X SLAM L NÈ,´ > 1 H F]>Û ¯# G÷+X Äm1Ñ ÈRosen[40]1y ê * ¯+X Powell's Dog Leg # • / Q ß -(‹N¯# ¼ L-M # X SLAM] Ä+X È v- } j!' ¦"Ñ 9 >Û ¯# G÷+X Ä

2. 4 本章小结

\1 û4ý ¶?ö?ù SLAM L NÈ]#¹ ú,´ -(£6ü Ÿ. Aö ¼ *.p*6Aê ÈÖÆ x û4ý ¶-(j @ ÿ Q » ¼ J?ö . … *.p È k?±#¹ ú SLAM }1 ,´ `AÑ Ä Õ-p þ – rM' :L@F ¶ SLAM L NÈ,´ T W Q » ÖF Ø >?ò#{ Ä 0 > þ *.p*6Aê@ Ö û4ý ¶ SLAM >1 H FG÷ +X,´ k?± £K^ ° _ ÄFJE÷ \8²,´ û4ý È) SLAM L NÈ 9 0 Z" E³ ˜M',´ ¶@ È¦ j >5 1 8² Ë 0 Ê,´*6Aê *.p Ä

万方数据

3 基于特征的相机跟踪

3.1 关于单目视觉SLAM实现稠密重建的思考

X 1.3 8²] È "4ÿB$ > SLAM .D0¦] ` .,´Gý?± W È ¦F 0!•L@F ¶0P öGý *) ¾ ÎLu Ä+X,´Gý?± ? y ÄG÷+X = <,´ P O ˜ Î)à0P öGý * È 4 9 Y : È vH¤ ¾ RGB-D -(j > ü- -(j).œ &,´ ÍC† W j È D RGB-D -(j # +X ¾Ô F)ß ³ È6< …- -(jF2+X W j È Ä+X } Ÿ ¯# È p * ¾ …- ?ö?ù SLAM ,´0P öGý * = Ý EC§ £# Ä * ¾ …- ?ö ?ù SLAM ,´ é# k?± 9 T2« Ö * ¾(© ±# ¼-$ ÕD DZ# Ä þ 0P öGý *,´@ Ö 6 À È-$ Õ D DZ# H F Ï û ÿ3P&éL$,´ Þ ÖB È =M0?± (© ± È \DÛ a Î)à" E³2î.ž,´ z 0P ö ` . È p -( ) •B$ $ é C Î)à0P öGý * Ä v _ È ?± { =0P ö$! Ö9ç ,´L NÈ È * ¾(© ±,´ …- ?ö?ù SLAM 1Ç# X j Ÿ0P öGý * éM’ H ï > n È k?± 9 ² ; &é Ö

Ä1 Å-$ ÕD DZ# * ¾ Þ Ö 08$ W wAî È X y'— F W,´ õ å ; é C a x È =F2+X ¾K¯ &L$F >|,´ j ˜ ê3+5 Ä6<(© ±# = _1° …,´ * ¾ Ï û ÿ3P,´ Þ Ö ŸF >| iG} È 6< _ ¯+X2î óAîAÑ,´(© ± È p § 9 $ -,´ y'— È j Ö È ûEœ1y = W Ä

Ä2 Å-$ ÕD DZ# XD DZE÷0;] ¯+X WGÿ = O2î.ž,´$! Ö Ÿ • `AÑ-( j,´ } / È ˆ X Ç ‰ Ä-( ý È * ¾(© ±,´ é# Y+XQ 2î Ö,´00+¿ “&é ¼ @ / 1 `AÑ ÈFJ h õ å ; § 9 $Q ,´R± W Ä

Ä3 ÅB 3_0 ,8$E˜F)%20+ _ p 9 SLAM 3+5 M’ d,´Gý?±L NÈ È6<L)ß ð#{E÷0; 7-E÷ 9 x,´5C@ F 0L NÈ V •,´ ¡ ý Ä- } 9 x,´L)ß1†+• _ * ¾ . ÿ(© ±,´Aý>» Q » Äbag of words Å ÈF a ? £-p -$ ÕD DZ# ?± # Î)àL)ß È õN«Gý à (© ± ÈF ~ = 7- Ä p È-$ ÕD DZ,´1Ç# 08\"Ñ 9L)ßE÷0; ÈF • _ ,8$ ¦2î Ö ~ ¾(© ±# ,´ 0 Z Gý?± Ï Ä

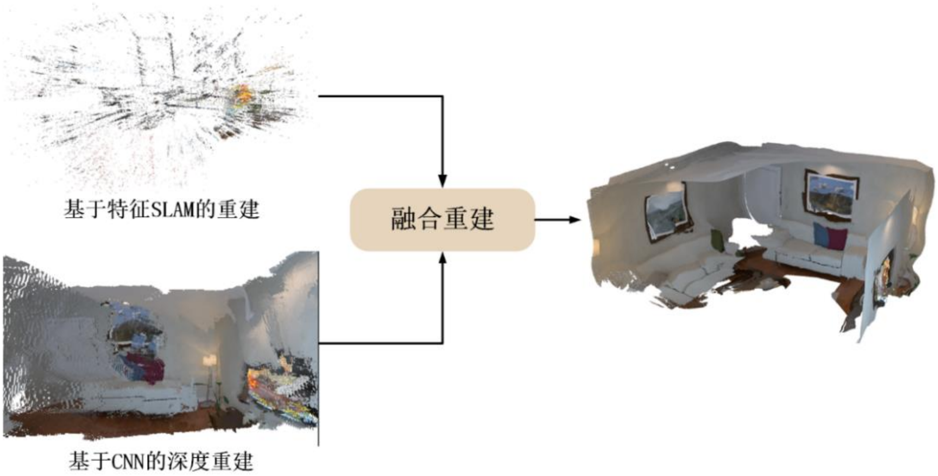
* ¾ : Ï È\ · þ * ¾(© ±,´ …- ?ö?ù SLAM @ Ö • Î)à) 3D j Ÿ,´0P ö Gý * ÄFJE÷ 6 À k5 = <0P ö j ŸGý * ,´1†+• È Ç *0P ö ` . `AÑ,´?±3P 9 ÖQ 2î Ö,´ j Ÿ …5 ´ ¼MŽ5 ´ W j ,´0P ö$! Ö ÄF a?±"r A X Î)à0P öGý * } 1„ ;M’ 9 ZL NÈ Ö

Ä1 Å > g9ç Q 2î Ö,´ j Ÿ …5 ´ >-(j } / Ÿ Û

Ä2 Å XMŽ5 ´ W j È > g `AÑ *-( ) ö.ž,´0P ö$! Ö Û

Ä3 Å9ç Ç j Ÿ,´5 ´ ¼ ¦ j ,´0P ö$! Ö > È > g Î)à T65,´=½ 8 È F65B$ È > g 6F Ë0P ö,´$! Ö Ÿ › u ` j Ÿ5 ´] ¦ mGÿ.ž =.d •5 ´ Ÿ Û

万方数据



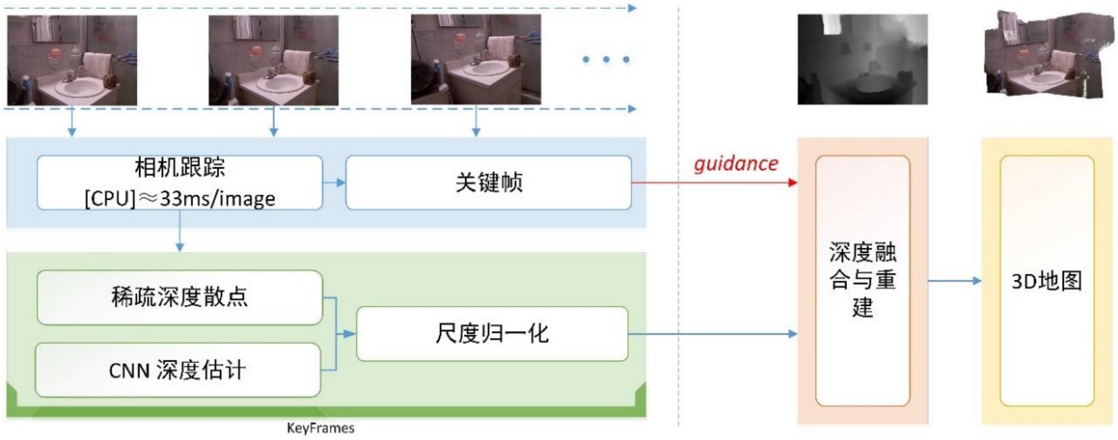
. 3.1 * ¾ …- ?ö?ù SLAM ,´0P öGý * 1†+•

Fig. 3.1 The strategy of dense reconstruction based on monocular visual SLAM

0 éM’ È > ¦ ÿ-$ ÕD DZ# FÓ g Y+X = O2î.ž,´0P ö$! ÖF >| } / `AÑ È B = ² 6 -( jD DZ ¼0P ö$! Ö `AÑ@ 6V ÈD DZG 6 mGÿ ¯+XQ 2î Ö,´$! Ö “&é È0P ö$! Ö `AÑ+a 0 Z Q ‡ Î)à Ä A )à * ¾(© ±,´-( jD DZ = õ õ Ë ¶2î.ž,´ } / ÈD DZE÷0; ] ×+Q,´$! Ö “&é 6 3 X j Ÿ,´ …5 ´ : È£ 63<• Y+XF Ë00+¿,´ “&é • k+k j Ÿ,´ …5 ´ Ä 0 éM’ È §0 /Ž4ÿ5•5 X j Ÿ,´Q r Ÿ ¼F >| ÿ3P4× [,´ , + Ñ Ä ² £M’# 4ï `AÑ ÈB y 6 ¢ ¼$! Ö .N´#{ Å éM’ "4ÿ Ç ¶ ¸ W,´ @ Ï Ä CNN Ø Ý,´$! Ö 08\ _0P ö,´ È ˜ p2î.ž,´ È(© [_ X £% F ~4é*6 j È v _ é C ×+O Q 2ú,´$! ÖEé+| È # 9ç j Ÿ5 ´4ï3R ÄF Ë(© W!“ - > * ¾(© ±,´-(jD DZ-(Â>• È ¾ _ È ¸8 'f ` CNN >Û+X • `AÑMŽ5 ´ W j ,´0P ö$! Ö Ä j Ÿ5 ´ ¼0P ö$! Ö 9ç ,´L NÈG- "4ÿ Ç `@ ã È Õ ; • a _ > g=½ 8F T/ý Ÿ È \ · * ¶ 0/ý * ¾=½ 81†+•,´0P ö$! ÖGý * È ¸ -,´ ˆ ¶ j Ÿ,´5 ´ Ÿ È ¦ ¼ @ ¶) ˜ $)ß ³,´0P ö * Q È ¤ ƒ,´ .D0¦ MD ² . 3.1 p/j Ä

\ · * ¶M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM é# Èþ j Ÿ5 ´ ¼0P ö$! Ö `AÑ T Z @ Ö È u 6 Y+X ¶ CNN $! Ö Ø Ý ¼ * ¾(© ±,´-( jD DZ È 9 x,´5 8 ¶4ß …,´1†+• ¼$! Ö – • M # ÈÎ)à ¶ 0P ö j ŸGý * Ä ¤ Z3+5 5 [ ¶4ÿ ¨?ö?ù SLAM ,´ Q ‡ ¼ Î)à 0P öGý * Q ‡ Ö * ¾(© ±&é,´ iG} ÎGÿ ?"r@ -( j,´ } / È >1 = Ý H F `AÑ,´ } / ¼ 00+¿,´$! Ö “&é Ä * ¾ £K^ W,´0P ö$! Ö `AÑ ú=½ 81†+• ÈL)ß Q ‡+X • ÿE«F >|E÷ 0;],´B 3_0 Ä!ÿ Z Q ‡,´ k?± µ é ² ; Ö

万方数据



. 3.2 3+5 #q0; .

Fig. 3.2 The pipeline of the proposed SLAM system

Ä1 Å-(jD DZ Ö¯+X …- -(j Œ j P O ˜ È9ç j Ÿ,´ . ÿ ¿ G ÄF >|D DZ { } È x) . ÿ ŠN´ 4*6 Ö k?± 5 +¨ . !“ È(© ± ð#{ ¼ ÿF ÄG÷+X ORB-SLAM],´ _ ? M û F +• È9ç Cã O,´ 95$D 7&é È j >5 ,´-(jD DZ Š ö 7 ÄD DZ k?± 6 @ T2« È 02« _ WL$D DZ È 02« _D DZ pG ` . ÄD DZ E÷0; ]FJE÷ 0 ? FGý Å ¡B Ç ` -(j } / È ¦.ž Ê _ V • £K^ W Ä £K^ W P • >1 > È J H F ƒ } pG ` . ],´ p 9&é ¼ £K^ W,´ } / È ¦ T Ý _ V ˆ X/ë5Ô,´ ` .&é ¼ Ç ‰,´ £K^ W Ä 0 > ÈFJE÷ 9@ F$+ Ð CãO J,´D 7&é È5$ 1-(jD DZ Ä

Ä2 ÅCNN 0P ö$! Ö `AÑ Ö) ¾ D DZE÷0;].ž Ê,´ £K^ WFJE÷ CNN N´#{ ¦ ~ 6EØ)·,´0P ö$! Ö Ä

Ä3 Å * ¾ =½ 81†+•,´0P ö$! ÖGý * Ö Y+XD DZE÷0;] ×+O,´Q 2î Ö “&é ¼ CNN N´ #{,´0P ö ~ 6EØ)·,´$! Ö . È ´FP$! ÖGý * - È ’ = * ¼ ¤,´0P ö$! Ö Ä

Ä4 ÅL)ß ð#{ Ö Y+XD DZ { } ,´ . ÿ(© ± È * ¾Aý>» Q » Î)àL)ß ð#{ È ð #{ `L)ß > È"r@ ƒ } W >L)ß W {L$,´ Sim(3) ’ Ä-(l ’ Å È •4Ð!“B ,´3_0 ¼ j Ö%20+ Ä

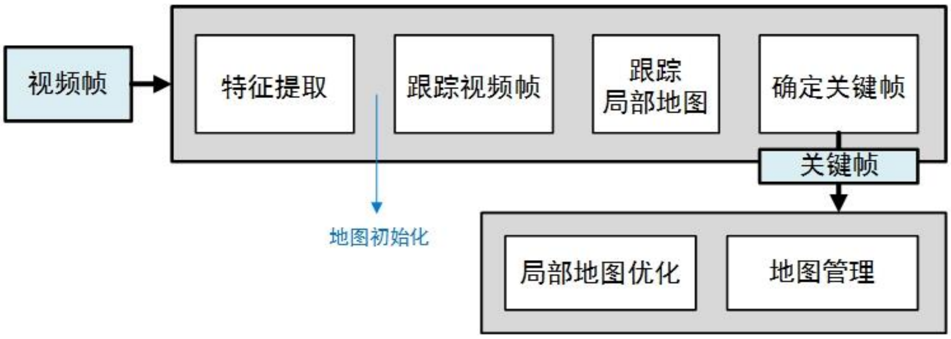
;M’,´1 8² 6) :F ,´ 4 Z Q ‡F >|B 4ö û4ý È k?± 6 @ T1 È1\ 91 B 4ö û4ý * ¾(© ±,´-(jD DZ1Ç# È k?± 5 ¤ Z-(j,´ } / `AÑ ¼ >1 H F Q ‡ È jM’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM Ë2î.ž,´-(j } / ¼ j Ÿ,´ …5 ´ Ä1\ 1 5 * ¾ CNN ,´ £K^ W$! ÖN´#{ È * ¾=½ 81†+•,´$! Ö=½ 8 >Gý * úL)ß ð#{ Q ‡ Ä k?± Ë0P öGý *E÷0;] 0P ö$! Ö Ÿ Ä +a ¾ \ ·,´Gý&é X ¾.D0¦ ² …9ç 0P ö,´ $! Ö Ÿ ú-(j,´ } /D DZ È95$ * QE÷0; = ½B 4ö û4ý È j Añ ¤ Z0P öGý * SLAM ,´F >| x)· È Î P¼

万方数据

]) ¾0P ö ` .,´ n/jG÷+X ¶L}G÷ g% # ,´&é Á>˜/j Ä i ž § ƒ,´ + Ñ = < È ` .,´ '
? 9 ¸ W 2 È vG- +a&é Á ` .4ÿE÷F2 ƒ,´ 4*6Eœ F Ç ` Ä

3. 2 基于特征的相机跟踪算法设计

-(jD DZG 6 k?± _) Ä SLAM ,´ }1 + Ñ Èø0 j?ö?ùGü0;AÑ Äk?± _FJE÷-(Fë & k?öNÁ W µ,´Gý Ÿ • `AÑ-( j,´F Ø ¼00+¿,´ 95$D 7&é È ¤ ZD DZE÷0; ² . 3.3 p/j Ä+a ¾ \ ·,´.D0¦Gý&é _ Î)à …- SLAM ,´0P ö j ŸGý * È p 6 >1 ) ` . ,´1Ñ*6 ¼ pG H F 5 0 `-( jD DZ Q ‡ ; È k0 j * ¾(© ±,´-( jD DZ ÄF g a ¼ 0P ö$! Ö `AÑ-( ) Ä È jD DZG 6 k?± Ë-(j } / ¼2î.ž j Ÿ5 ´ Ä



. 3.3 * ¾(© ±,´-(jD DZE÷0;

Fig. 3.3 The process of camera tracking of feature-based SLAM

D DZG 6 k?± 5 Ö

Ä1 Å(© ± È) ¾-(jG÷Lö,´?öNÁ W ÈF9 8F2,´(© ±1Ç# È Î & ` (© ± &é ¦AÑ1Ç ) Ä ÿF € È \ · ]F9+X ORB (© ± Ä i ž `,´(© ±M0?±AîAÑ 8*6,´ iG} 1†+• È *0û J Z?ö@ ;(© ± &é `(© ±&é,´ ) Ä £3+ F65(© ±&é ` 95$D 7&é,´) Ä Ä

Ä2 Å ` . M û F È …- ?ö?ù SLAM]+X • * Ê j Ö È9ç D 7&é Ä

Ä3 Å-(j } / `AÑ È ø0 Œ -( jD DZ È _B Q ‡,´ k?± + Ñ ÈFJ h+a WL$D DZ9ç M û,´ } / È ½ i ž ƒ }?öNÁ W *0û pG ` . È þ pG ` .]9ç $ J,´4Ö • ÈFJE÷ H FGý Å ¡B È £F Ø BA È9ç $ Ð2î.ž,´ } / Ä

Ä4 Å £Lö W.ž Ê È+a ¾ Î & W,´?±"r È H F-(j } / ¼ ` .&é,´ - 9L€ È p F9 * ¾ £K^ W,´1†+• È D?öNÁ W ] ˆ XE÷ J,´ Ç ‰ Ÿ È ý6< J ¯ Ç `AÑ,´2î Ö ` ¡ ý Ä

万方数据

Ä5 Å >1 H F Q ‡ ÈF Gü 6 >1 H F >-(jD DZ n ` 0 ZG 6 È _63<• \ · T Z k?±.D0¦Gý&é È 0 Z _-( jD DZ Ë-( j } / ¼ j Ÿ5 ´ È 0 Z _$! Ö=½ 8Gý *9ç 0P ö,´$! Ö Ä H FG 6 k?± _ ) }1 ,´5 Ì È X pG ` . µ < & H FD 7&é > } / ÈF 0!• wD DZ,´2î Ö Ä ;M’ 6)!ÿ Z Q ‡F >|B 4ö,´ û4ý Ä

3. 3　基于网格的特征描述与匹配

3. 3. 1　基于网格的特征提取

-(jD DZE÷0;] ÍC† ¾ pF9(© ±,´R± W È " E³ h+X,´(© ± 9 SIFT[41] ¼ SURF[42] (© ± È v63<• ` SLAM Î & W,´?±"r ÈF GüF9+X ORB[43](© ± Ä ORB 1Ç# 6 @ TG 6 È 6 [ _(© ±&é ,´ ¼ ÿF ÈB 1Ç# 6 FAST[44]@ &é ð#{> BRIEF[45] ÿF €5 8C§ • È ¦ X Ï •,´ *.p : Š ¶ iF ¼ H F È ¯ Ç ORB 1Ç# X Añ 0 Ê,´2î Ö ; È ¦FO Ö7- O Eî ` Î & Ä

FAST @ &é ð#{ k?± ð#{ ÿ3P& Ö l F > n,´ j È FO Ö :‡0 Ä ³,´ h ó M # _ È ² Ì 0 Z ÿ3P,´& Ö l >Fë µ,´ J Z ÿ3P [¸ W ÄE÷ Þ F65E÷ Ç Å ÈFÓ x a 9 7- _(© ±&é Ä ¦ § ƒ Š# ² ; Ö wAî X . ÿ]F9 0 Z ÿ3P&é p È ¦) Ä,´& Ö l j Ip ÈAî Ê 0 ZL8 l T Ä 08\ j Ip ,´ 20% Å Ä ÿ3P&é p j] ó È9ç z ´ j 3 ,´ 6 ˜ :,´ 16 Z ÿ3P&é Ä ² ÌF9 ,´ 6 ˜ : 9F 5 N &é,´& Ö l W ¾ Ip+T F ? ¾ Ip-T ÈFÓ x ÿ3P&ép a _(© ±&é ÄFJ h õ å ; È N ,´ l 9 È11 F 12 ÈA 0 { j FAST-9 ÈFAST-11 F FAST-12 Ä Ï û,´ FAST @ &é = § 7 ûEœ ¼ j Ö = W È p Œ65 k?± * ¾F T&é Š ¶ ; iF Ö Ä1 ÅG÷+X& ÖCX ó# 6 ¦ >] ó {L$,´ •0+Gÿ Œ j(© ± k é A È ¯ ¦ § 9 ûEœ = W Ä Ä 2 Å ´FP . ÿH ‡ „ È X!ÿ 0 r : FAST @ &é È ¯ ¦ § 9 j Ö = W Ä

BRIEF ÿF € k?± _ j ƒ }(© ±&éAÑ1Ç * 0 Z ¼F f b,´(© ± ÿF 1V Ä X(© ±&é,´ Fë µF9 n) ÿ3P&é p_i Èq_i Äi=1 È2 È3…n Å È'f >" E³&é)L$& Ö l,´ W ? È ² Ì I Äpi Å>I Äqi Å È l+O @ ¼F f b],´ 1 È V l j 0 È" E³ p 9,´&é)+O @K¯ Ö j n ,´" (© b Œ jB (© ±&é,´ ÿF € Ä ORB 1Ç# X!" *.p : È Î Ð ¶ BRIEF ÿF €,´ Ç š W È ¦ D * ¾ oFAST (© ±&é ¯ Ç ÿF € § 9 ¶ ûEœ = W Ä v _F g,´ ý Œ Î W ¶ ÿF € {L$,´-(£ W È ¯ Ç(© ± ÿF €,´ T [W ;L} Ä j ¶@ ãF ZL NÈ È ORB 1Ç#] ¯+X ¶ * ¾5 AÑ – •,´ é# • Î)à&é)Lö 8,´F9 È 04ø Q ¶ ¦ T [W Ä

9ç ?öNÁ W > ÈOÆ x ORB (© ± ¦AÑ1Ç) Ä,´ ÿF € È) ¾ T Z?öNÁ W µ,´(© ±&é È A M0?±4ÿE÷ 0F Fë L3R • ® `(© ± iG}) È *0û žL$,´ £6„ Ä h+X,´ 0F Fë

万方数据

L3R1†+• 9 ä Ë iG} F FLANNÄ FO 0F Fë L3R ÅÊa ¾ ORB ÿF € _ 0 Z ¼F f b È p X 0F Fë L3PE÷0;] ÈG÷+X"y >D /ë Œ j-(l W ÖGÿ,´ 7 ö Ä AÑ1ÇD /ë,´E÷0;] j ¶ Î Ð iG},´2î Ö ÈF Gü ¯+X ¶ KNN ratio test Ä" l T [# Å È ƒ K=2 & È ¦AÑ1ÇE÷ 0; ² ; Ö X iG} L3R & È = õ õ9ç 0 £ iG} È ¦Aà …!Q £ iG} ÄAÑ1Ç T65 {L$,´" l ¦ T Ý _ V ? ¾L8 l T È • ã Ê ¦ _ V j M• iG} Ä T 08\ 0.66 È9 " l ? ¾ T l 0 £ iG} j M• iG} È V l È R 3B iG} Ä v _ È …4ß,´ ÍM• :M',´ iG}E÷0; ý'f # Añ"r Ç,´ iG}) Ä+X ¾ -(j,´ } / `AÑ ÄXF Ë M û iG}] 7- ˆ XE³ J,´B iG} È 08\ Š# $+ Ð 0 Z …P¼AñE÷0; È ¯+X RANSAC 1†+• • 6EØ * M û iG}],´ M• iG} ¼KIB iG} Ä

63<• ` >5 ,´ 4*6E÷0; È ú) iG}2î Ö ¼FO Ö,´?±"r È \ ·)(© ± E÷0; ¼B iG},´ „L"E÷0; Š * ¶ ; T&é iF Ö

Ä1 Å G÷+X * ¾5• l,´(© ± é# È þ0ªL$ }5ž ¼ ý Ä l T Z@ ÖF9 (© ± Ä

Ä2 Å XB iG} „L"E÷0;] È E • GMS 1†+• È Q)KIB iG},´ T [W7- ¼FO Ö Ä

. 3.4 žFJ(© ± > * ¾5• l,´(© ± 5 Ì

Fig. 3.4 The results from general feature extraction and grid-based feature extraction

. ÿ] ,´(© ±&é _ >5 ´ *D 7&é,´ *.p Èj ¶ ¯ Ç-(jD DZE÷0; m 7- Ë ¼ ¤,´ j Ÿ5 ´ ÈF¯ }(© ±E÷ ÖLö] X ËQ 4é*6 j Ä \ · * ¶ * ¾5• l,´(© ± 1†+• È 6 Ï û . ÿ B 6 @9 ¢ Z5• l È X!ÿ 0 Z5• l µ w 0,´ (© ± È m 7- Añ `,´(© ± 6 " X ¤ Z j Ÿ µ È7- O $ ˜M',´ k+k j Ÿ,´ …5 ´ Ä 0 éM' • j GMS 1†+•,´ E • Ë ¶ ' & Ä. 3.4 j T/ý(© ± é ?5 Ì,´ …/j ÄA $5 Š,´ -; ` È ƒG÷+X žFJ,´(© ± 1†+• & È(© ± JLö] X Ë pG j Ä ƒG÷+X * ¾5• l,´ (© ± é# & ÈX = <5• l µ 0 Ê,´(© ±&é Èƒ Z5• l µ ,´(© ±&é =Cã & È F2 ƒ,´L} ~ FAST @ &é ð#{,´L8 l È ÎP¼]Aî Ê 0 ?,´L8 l j 7 ÄF g a R 3 ¹(© ± öLö j ,´ Ç ‰,´Q ý Ä l(© ±&é ÈF 6< +‰(© ±E³ A j ,´ ~ ý Ä l(© ±&é Ä

万方数据

\ · *,´ * ¾5• l,´(© ± é# þ0ªL$ }5ž ¼ Harris ý Ä l T Z@ Ö •F9 (© ± È X +‰E³Q 2î Ö(© ±&é,´ õ å ; È¯ Ç ,´(© ± w 0 6 3 ¾ ¤ Z j Ÿ È j >5 ¯+XD 7&é k+k j Ÿ5 ´ Ë *.p Ä

3. 3. 2 基于网格的误匹配剔除

08\ õ å ; RANSAC 7- O ¸ -,´ „L”B iG} È v _ x)· =Q Ä \ · E • Bian 1y ê *,´ GMS[46] é# +X ¾ „L”B iG} È X Añ2î Ö,´ < & w 4*6,´FO Ö Ä GMS 1Ç# OÆ

>˜ 3. 1 GMS 1Ç# E÷0;

Tab. 3.1 Steps of GMS algorithm

EÃ • Ö . ÿ iG}) I_a > I_b
M û F Ö
1 Ö ð#{ . ÿ(© ± ¦AÑ1Ç ÿF €
2 Ö) ¾ . ÿ I_a],´ p 9(© ±&éAÑ1Ç * ¦ X I_b],´ 0 £ iG}(© ±
3 Ö 6 [6 . ÿ I_a È I_b 6 @G Z5• l
4 Ö**for** i = 1 to G **do**
5: j = 1;
6 Ö **for** k = 1 to G **do**
7 Ö **if** $\lvert\chi_{i,k}\rvert > \lvert\chi_{i,j}\rvert$ **then**
8 Ö j = k;
9 Ö **end if**
10 Ö **end for**
11 Ö i ž1y ? Ä 3.1 Å ¼ Ä3.2 ÅAÑ1Ç $S_{i,j}$ ¼τ_i
12 Ö **if** $S_{i,j} > \tau_i$ **then**
13 Ö *Inliers* = *Inliers* $ $\chi_{i,j}$
14 Ö **end if**
15 Ö**end for**
F Ö þ1\ 4 >| 0 ûGý = È 65• l"ï-p x,y 6 [0+ Ø z Z5• l,´ í Ö
EÃ * Ö*Inliers*

万方数据

x 6 . ÿ I_a ¼ I_b 6 @ G Z5• l È) ¾5• l i Èj 6 [Ž ¾ . ÿ I_a È I_b Ä $\chi_{i,j}$ >˜/jB 5• l)
µ,´ iG}(© ± ´ @,´Lö 8 Ä T Z5• lL$,´ Ç 6AÑ1Ç ² ; Ö

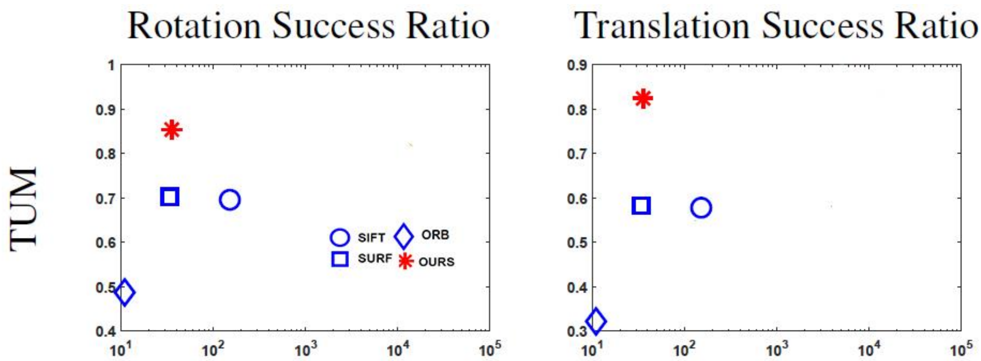
$$S_{i,j} = \sum_{k=1}^{K=9} \left| \chi_{i^k, j^k} \right| \qquad (3.1)$$

K >˜/j,´ _ i Èj ,´-(Fë5• l ÈF Gü ,´ _ ›Fë ÈAÑ1Ç Ç 6 & ÈM0?±63<• ˜ $,´5• l Ä
j ¶ Î Ð ûEœ = W ÈFë u5• l X iG} &G÷+X J/ý iG} é ? È 0 >"r Ç £ w l Œ j 04ø
Ç 6 ÄAÑ1Ç ¼ Ç 6 > È)B 5• l iG})M0?±AÑ1Ç 0 ZL8 l $\tau_i = \alpha\sqrt{n_i}$ ÈF Gü,´ α _ 0 Z h
È ÎP¼] l j 6 Ä n_i >˜/j 9 Z5• l](© ± iG}),´ £ w l Ä 0 >B 5• l) µ,´ iG}
j!“.ž ¤ iG},´ TB+ Í ž ² ; Ö

$$cell - pair(i, j) \in \begin{cases} T, & if\ S_{i,j} > \tau_i = \alpha\sqrt{n_i} \\ F, & otherwise \end{cases} \qquad (3.2)$$

GMS 1Ç# ,´E÷0; ²>˜ 3.1 p/j Ä

E • GMS > È7- W u Ö w >5 -(j } / `AÑ,´ ö.ž W È¦ D Añ Î & W Ä . 3.5 " E³ ¶ /ý(© ± iG},´1†+• È6 [ _ ORB ÈSIFT ÈSURF Ð ratio test ÄF Gü ¯+X,´ _ TUM RGB-D ž È ´FP @9 ¢4ô .-( ) È Y+X iG}5 Ì"r@ -( )F Ø È5 AÑ ¶"r@ @ Ï,´ " » >"r@ pM0 &L$,´ £3+ Ä log >,´5 Ì È … } j" 0 Å Ä -; * GMS 1†+• W W Î Ð ¶-( j } / `AÑ,´ @ Ï)· È m1Ñ ¼ $2î4ö,´(© ± È ² SIFT -(" È6< ¦FO Ö ¸ ?ò Ä



. 3.5 = < iG}1†+•,´ W7-" E³

Fig. 3.5 The performance of different matching strategies

万方数据

3.4 地图初始化

…- ?ö?ù SLAM +a ¾ j Ö Q2ú,´L NÈ È X `AÑE÷0; ]M0?± * Ê j Ö È * ¾ 2D-2D ,´ iG} •AÑ1Ç-( j / 1 # 5 0 j Ö Èp G÷+X 3D-2D ,´ ž £6„ Î)à5 0 j Ö ;,´-( jD DZ ÄFÓ x È9ç M û,´ 95$ ` .&é,´E÷0; È a0 j ` . M û F Ä : 08²] "4ÿ û4ý ¶(© ± iG},´E÷0; È9ç (© ± iG}) > È i ž … Ä W4Ö • F65) ±4Ö • 6 ["r@) Ä,´ … Ä W. Le ¼ *.p. Le Ä T65 6 [F2+X= <,´ j Ÿ È … Ä W4Ö • F2+X¾(© ±&é } ¾ < 0 £M' F65?ö ¸ ?,´ õ å È ¦ ³ ' & ; 08\ 9'—) ±4Ö •"r@ Ä ¼ @ … Ä W. Le F *.p . Le,´"r@ > È Y+X 2.1 8² û4ý,´ 6@ é# È ' = * ûEœ ¼ £0+ ' È 0 > Y+X 9@ #{ GÿGý * *(© ±&é) Ä,´ 3D D 7&é Ä

\ ·G÷+X _ ?,´"r@ é x È8 ØF9 8F2,´ M û F é# Ä § ƒ,´ Š# ² ; Ö

Ä1 Å9ç ƒ } W F_c ¼ ò63 W F_r {L$,´(© ± iG} $x_c \leftrightarrow x_r$ Ä

Ä2 Å ¦>|AÑ1Ç T Z Q » È ¦"r@ … Ä W. Le H_{cr} ¼ *.p. Le F_{cr} Ö

$$x_c = H_{cr} x_r \qquad x_c^T F_{cr} x_r = 0 \tag{3.3}$$

6 [¯+X RANSAC v æ ;,´ , 0 F DLT ¼ 8 &é# "r@ ÄX!ÿ!Q F E÷ 0;] 6 [AÑ1Ç T Z Q »,´ Ç 6 S_M È $M = H\ or\ F$ ÄH >˜/j … Ä W. Le È F >˜/j *.p. Le Å Ö

$$S_M = \sum_i (\rho_M(d_{cr}^2(x_c^i, x_r^i, M)) + \rho_M(d_{rc}^2(x_c^i, x_r^i, M)))$$

$$\rho_M(d^2) = \begin{cases} \Gamma - d^2 & if\ \ d^2 < T_M \\ 0 & if\ \ d^2 \geq T_M \end{cases} \tag{3.4}$$

d_{cr}^2 ¼ d_{rc}^2 >˜/j)0 ,´ 'B È T_M _ TB+ _ V j 2 l&é,´L8 l Æ3 P¼] $T_H = \Gamma$ =5.99 È T_F =3.84 Ä

Ä3 År@ ` 0 H,´ H ¼ F > Èi ž ,´ Ç 6 AÑ1Ç ;M',´1y ? •F9 8F2,´ Q » Ö

$$R_H = \frac{S_H}{S_H + S_F} \tag{3.5}$$

² Ì R_H >0.45,F9 … Ä W Q » È V IF9 *.p. Le Ä

Ä4 Å)F9 Ê,´. LeF >| 6@ È ' = ûEœ ¼ £0+ È ½FJE÷ 9@ #{Gÿ ÈGý * *(© ±&é) Ä ,´ 95$D 7&é Ä

FJE÷ M û FE÷0; Ç `,´00+¿D 7&é j >5 ,´-( jD DZ Ë ¶ *.p Äk?± = Ý *0ûF Ë 3D D 7&é ¼(© ±&é {L$,´ £6„ • Î)à } /,´ `AÑ Ä

万方数据

3.5 相机跟踪

3.5.1 帧间跟踪

D DZE÷0; 6 @ T ZG 6 Ö WL$D DZ ¼D DZ pG ` . Ä WL$D DZ k?± _ *0û T Z?öNÁ WL$,´ £3+ È•9ç ` .&é ¼ ƒ } W] (© ±L$,´ iG} £3+ Ä D DZ4ï0;OÆ x MB ,FO Q » È B Q » wAî-(j,´F ØE÷0; _ £% ,´ È £!ÿ W {L$,´-( )F Ø _ 0 Z , Ê I ΔT È+a ¾ : 0 W,´ } / ". Èu -$ Õ"r * ƒ } W } /,´ 0 Z M û I Ä Y+XB I 6 } 0 W]?ò#{ `,´D 7&é Å ¡ ` ƒ } W] È¦ X Å ¡&éLtF + ® 8F2,´(© ±&é È´ * 3D-2D ,´ iG} £ 3+ Ä ´ *F Ø BA Q » H F"r@ $2î.ž,´-(j } / Ö

$$\{R,t\} = \arg\min_{R,t} \sum_{j\in\chi} \rho(\|x_j - \tau(RX_j + t)\|_{\Sigma}^2) \qquad Ä3.6 Å$$

χ >˜/j 3D-2D iG}) ´ @,´Lö 8 È X >˜/j 95$D 7&é È x >˜/j(© ±&é Ä ρ _ Huber - È Σ _ Ÿ. Le È τ _ Å ¡ é0; Ä AÔ j M û,´ } / _ j ¶9ç 95$&é `(© ±&é L$,´ £6„ È2î ÖE³ ~ ÈvCã O X 0 Ê j µ + ® `!“.ž,´ iG} ÄF g *0ûCã O,´ £6„ > È Gý à Y+X H F,´ é# "r@ Q 2î Ö,´@ Ä ƒ)à iG}) = O & È £ ,FO Q » a x È IF >| £K^ WD DZ Ä6 ƒ } W,´(© ± > } 0 Z £K^ WF >| iG} È+a ¾ : 0 £K^ W?ò#{ `,´D 7 &é "4ÿ ¼(© ± *0û ¶6„3+ È p ƒ } W,´(© ± ¼D 7&é *0û iG} £3+ Ä Ç ` iG} £ 3+ > a FJE÷F Ø BA "r@ } / Ä

3.5.2 局部地图跟踪

0 ¼ @ WL$,´D DZ > È j ¶F 0!• Q -(j } /,´ `AÑ2î Ö È J X pG ` .] + ®D 7&é ¼ ƒ } W] Z iG},´(© ± *0û £6„ È9ç Ç $ J,´ 3D-2D ,´4Ö • ÈQ "r@ 2î Ö Ä XB$ > pG ` . { } È x@ Gú 0 ; ð x _ ¡?ö . È ƒ T Z?öNÁ W {L$ ¡?ö ` .&éEî ` 0 Ê - & È I *0û6„3+ È ¤ Z3+5 XF >| ] J5$ ÔF g 0 Z ¡?ö . Ä ¦ ] pG ` .+a £ K^ WLö 8 K_1 È K_2 ú ³ p) Ä,´ ` .&é4ô @ Ä $K_1$ >˜/j,´ _ ¼ ƒ } W 9 ¡?ö ` .&é ,´ £K^ W ´ @,´Lö 8 È K_2 >˜/j X ¡?ö .] ¼ K_1],´ £K^ W ˆ XF Õ £3+,´ p 9 £K^ W ´ @,´Lö 8 Ä Å ¡E÷0;]M0?±F9 8F2,´ ` .&é ÈF9 ‘ & ² ; Ö

Ä1 Å OÆ x.ž Ê ` .&é _ V7- O Å ¡ ` ƒ } W : Ä

Ä2 Å 6 ` .&éFJE÷ { }9ç Ç,´ } /Eœ ’ `-(j € 73+ ; & È T ÝB &é,´$! Ö _ V j!“ I Ä

Ä3 Å ` .&é X-( j € 73+ ;,´$! Ö _ V X1V 8 ‘ &,´93 $ µ È!ÿ Z ` .&é X ´ * &G- JAÑ1Ç 0 Z$! Ö93 $ Ä

万方数据

Ä4 Å ƒ }?ö . é A ¼ ` .&é,´ £ w?ö . é A,´ i@ =?±CµE÷ 60 Ö Ä
% Cã :F ‘ &,´ ` .&é X ¦ Å ¡&é,´Fë µ + ® 8F2,´ Z iG},´(© ±&é È+O @ $ J,´4Ö
• £3+ È • Q -(j,´D DZ2î Ö Ä

3.6 关键帧确定

-(jD DZE÷0; JAÑ1Ç!ÿ W,´ } / È v _L¿-pB ,´3_0 È 04ø J +O UGý,´%20+ Ä
F & a ÍC† pG ` . ],´ H F È6< 6 }1 `AÑ,´ p 9 } / Œ j >1 H F,´(æ 1 Gÿ = Z
)à Î È p M0?±F9 9 >˜ W,´?öNÁ W P ` >1 H FE÷0; Ä £K^ WF9 ,´ Z00+¿ È J ,
8$ T WL$,´Gý µ é Z A È é CD DZ R a Ä-(ý ÈF9 Z öLö,´ £K^ W È ø J ,8$ Ÿ
Ç ‰ È # Eî ` Î & W,´ ?±"r Ä

\ ·F¥'— ORB-SLAM] £K^ WF9 1†+• È% Cã ;F ‘ &,´?öNÁ W>ÛAÔ j _ £K^ W Ö

Ä1 Å¸ u"Ñ 9 • à,´ £K^ W È» ² "4ÿE÷ 20 W ÈF65 pG H F4ï0; j0ªL"(æ 1 Ä

Ä2 Å ƒ } W D DZ ` ¶Cã O J,´ ` .&é È8# A 50 Z Ä

Ä3 Å ƒ } W ¼ ò63 £K^ W {L$,´ ¡?ö ` .&é?± ~ ¾ 75% Ä

% Cã :F ‘ &,´?öNÁ W 6>Û ƒ Œ £K^ W PFB ` >1 H F Ä

3.7 地图管理和局部优化

à$+ Ð,´ £K^ WM0?±4ÿE÷ ðP¼ È ¦$+ Ð ` ` .] È $ à £K^ W {L$,´6„3+ Ä }1 D
DZ ×+O,´ } / ¼ 95$ ` .&é •M0?±F 0!• H F Ä p >1 H F Q ‡ k?± 9 T Z + Ñ Ö `
.1Ñ*6 ¼ pG ` . H F Ä

` .1Ñ*6 k?± 5 à Î ` .&é È0ªL$ 2 l&é ¼ Ç ‰ £K^ W,´ „L” Ä Ç ` ƒ } £K^ W
X ¡?ö .],´Fë Õ £K^ W Ä ¡?ö ` .&é,´ - X 20 : Å È > ƒ } £K^ W *0û(© ± i
G} È 0 > i ž 9@ F ° _ à Î 3D ` .&é Ä63<• `B iG} JFP @KIB ,´ 9@ F È ú>Û
?ò#{!Q ¸ A,´D 7&é J Î Ð3+5 ,´ 0K0 Ä p È 9 õ?±) ` .&éF >| U l,´1‹F9 Ä 0
ZQ CXGÿ,´ ` .&é?±% Cã ; WCX Ö

Ä1 Å ² Ì?ò#{ `B ` .&é,´ £K^ W A ¾ 3 È I-$ Õ R 3B ` .&é Ä

Ä2 Å ÎLu?ò#{ `B ` .&é,´ W = ~ ¾*6Aê : ?ò#{ `B ` .&é W ,´ 1/4 Ä*6
Aê :?ò#{ `B ` .&é,´ £K^ W _ 7FJE÷ Å ¡ .ž Ê _ V X?öGþ µ,´ £K^ W È6< ÎLu?ò
#{ `,´ £K^ W _ 7D DZE÷0;] 9(© ± iG}) p) Ä,´ FÓ Ë £K^ WÄ

Ç ‰ £K^ W,´ „L” _ j ¶ Q 3+5 ,´F >| x)· È¦ h ó,´ ## a _ R 3 FÓ Ë = §
>˜ W,´ £K^ W È £B £K^ W) Ä,´ ` .&é5 WG 6>Û [,´ £K^ W p?ò#{ ` Ä

万方数据

pG ` . H F _ 7 X ƒ } £K^ W p ã Ê,´ pG ` . µF >| 0!Q BA H F ý Œ È H F ,´)B‘ j pG ` . µ,´ £K^ W ¼ p 9 ` .&é ÈF /ý Š# § 9 0 Ê,´&¥#k W È7- O8 F2 Ä ,´ ã ÊM0?± H F Ë-(j } / ¼ ` .&é Ä 6 H F,´(æ 1 Gÿ × f X 0 Ê,´93 $ µ Ä £ p G ` . µ Å È < &-(" ¾D DZE÷0; 63<• H F } / Š# È pG ` . H F < & H F-( j(æ 1 ¼ ` .&é È$+ Ð ¶ $ J,´4Ö • È !” § 9 $Q ,´2î Ö Ä

3.8 本章小结

\1 k?± û4ý ¶M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM é# ,´ ¤ ƒ*6Aê v æ È6 À ¶ * ¾ (© ±,´ …- ?ö?ù SLAM X Î)à0P öGý *,´ A H > H ï Ä * ¶@ ã0P öGý *,´ 9 Z?±&é È ¦ 6 [þF 9 Z éM’F >|1Ç# AîAÑ È* ¾(© ±,´-(jD DZ ËGý * & pM0,´ } / ¼2î.ž ,´ j Ÿ5 ´ Ÿ ÈCNN $! Ö `AÑ Ë0P ö,´$! Ö `AÑ È * ¾=½ 81†+•,´$! ÖGý * ¼ @ ¶) j Ÿ,´ 95$ * Q Ä >M’ T ZG 6 6 X ; 01 F >|B 4ö û4ý Ä \1 Gý&éL@F ¶ * ¾(© ±,´-(jD DZ > >1 H F Q ‡ È X(© ± G 6 È * * ¾5• l,´ 1†+• È mGÿ ¯ Ç (© ± 6 3 ¾ ¤ Z j Ÿ È $ - ` k+k j Ÿ5 ´ È ¦ E •Q x,´B iG} *1†+• È Î Ð ¶-(jD DZ,´R± W Ä

万方数据

4 面向稠密重建的深度估计

X : 01 ÈGý&éL@F ¶ * ¾(© ±,´-(jD DZ > >1 H F Q ‡ È@ ã ¶0P ö ` .Gý * ] j Ÿ5 ´,´9ç È\1 6 Gý&é.D0¦MŽ5 ´ W j ,´0P ö$! Ö9ç > > g X =.d • j Ÿ 5 ´ Ÿ,´ õ å ; • Î)à T 65,´=½ 8 È9ç 0P ö,´$! Ö . ÈÎ)à ) 95$ j Ÿ,´0P ö * Q Ä 63<• `K¯ &L$F >|E÷0;] ˆ X,´B 3_0 L NÈ È E • * ¾ Aý>» Q »,´L)ß1†+• È 6 ¶ " £K^ W>˜/j @?ö?ù …Aý,´4ô 8 ÈAÑ1Ç-(l W ÈAö [L)ß W ¦F >|-(Ä,´ Q!“ Ä

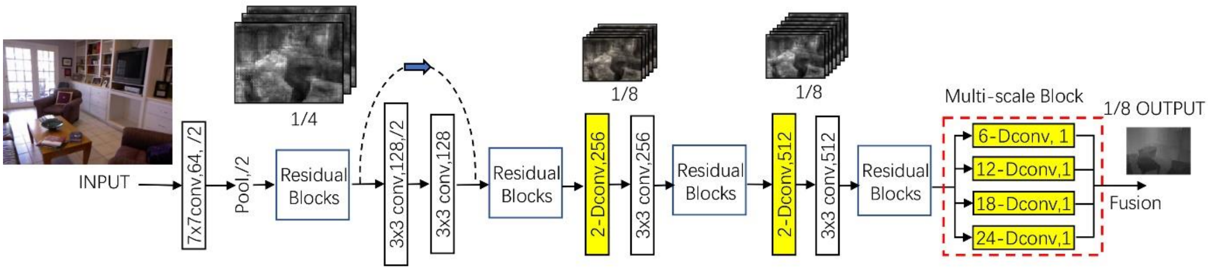
4.1 基于 Resnet 结构的多尺度深度估计

j ¶9ç Cã O,´$! Ö Ÿ È Î)à0P ö,´ 95$Gý * ÈM0?±)-(jD DZE÷0;] ×+O,´0c Ê,´ £K^ WF >|0P ö$! Ö `AÑ Ä i ž 3.1 8² ],´ 6 À È \ · ´ * ¶ * ¾ Resnet 5 ´,´ J j Ö$! Ö `AÑ5•5 ÄP5 ,´ $! Ö `AÑ k?±Lö ] X ¯+X . Q » 6 + ÑEœ F @ 0 Z7-Gÿ - 0 ? F ,´ L NÈ Ä+a ¾ §0 /Ž4ÿ5•5 XAÑ1Ç j?ö?ùN¶ ,´0± *>˜)à ú ¦Q x,´ * Q7- Ë È X$! Ö `AÑL NÈ : "4ÿ Ç ¶ ¸ -,´5 Ì Ä Liu[47]1y ê * ¶ ¯+X$! Ö – •5 ´ • þ … - ™8¢ . ÿ] `AÑ$! Ö Ÿ Ä X5 0,´ CNN v æ ; • – • ‘ &L¿ j j ],´ …&é ¼ @ )&é ï7- È ¦ 6 À ¶ CNN > CRF ,´6„ 8 * Q7- Ë Ä'f6< È #u r,´ CNN 5 ´ ¼ * ¾ Cµ ÿ3P,´ . ÿ ‡EÃ • ,8$ ¶ 9L€,´ O Gþ È =7- OQ x ` …9ç ˜ p(© ± È ¦ 04ø ,8$N´ #{,´$! Ö Ÿ2î Ö =Q Ä Eigen[48]1y ê * ¯+X J j Ö,´ CNN 5•5 < & `AÑ$! Ö È "M’ # 4ï ¼B y 71® È ¦+X 0 3+ G,´ €5•5 F >| = Ý,´4ö F Ä Laina[49]1y ê ¯+X ¶ $$! r,´ !» 5•5 • Î)à$! ÖN´#{ , X5•5 ] jB3 ¶ 0 Z : Å ¡ Q ‡ È+X • 4*6 ;G÷ gL NÈ È £ (© ± . = ÝL} ~,´ 6EØ)· È ¦ ¯+XF6 Huber • a •AÝ4ó5•5 Ä v _ È 04øN´#{,´$! Ö . 6EØ)· Í'f"Ñ 9Eî ` Ï .,´ W ? È6< D ×+O$! ÖEé+| Q2ú x Ä Ä

² A p. È = ÿ ¦ ³ . ÿ =L NÈ È » ²L} š ¼Cµ 6EØ È ™8¢ . ¼$! Ö . {L$,´ P 4 £3+ _MŽ h = r,´ È0 Z#u r,´5•5 5 ´ ¸Lî)F g = r P 4 £3+F >| * Q Äp È -(" Laina 1y ê,´ é# ¯+X Resnet-50 Œ j k ¢5 ´ È \ · ¯+X $$! r,´5•5 5 ´ È £ Resnet-100 È ¦ 5 8 0ª#N §0 ° _ ¼ J j Ö Q ‡ •9ç ˜ p : ; · Ÿ È w$! ÖN´#{ ,´2î Ö Ä . 4.1 ÿF ¶ \ ·$! Ö `AÑ,´5•5 5 ´ È 9 £K^G 6 ¼ \ · p Š,´ i Ø>Û … /j * • È) ¾ Resnet]F 5 ,´!» ‡ 5 0 +X!» Q ‡>˜/j Ä5•5 Resnet-101 j *.p5 ´ Î)à ¶ þ …?ö@ ™8¢ .] Ø Ý$! Ö Ÿ È § ƒ,´ i Ø ² ; Ö

Ä1 ÅResnet-101]>Û+X • 62«,´ ˜F Õ r ˜G >Û0+L” È j ¶ , *2î.ž,´$! Ö È \ · ¯+X L_2 93 • 5Š-O Î l >5•5 N´#{ {L$,´ ,B Ä

万方数据



. 4.1 0P ö$! Ö `AÑ,´ CNN 5•5 5 ´

Fig. 4.1 The proposed CNN architecture of dense depth estimation

Ä2 Å j ¶9ç Ç $ ¯LD,´ O Gþ È5•5]M0?±$+ Ð ;G÷ g r È 08\ j!•K¯ j 2 ,´ § 0 F65"• F ý Œ ÄF g,´ Š# X Î W O Gþ,´ < & = F¯ },´ J V •(© ± Ÿ R a È \ · ¯+X G÷ g)· j 2 0ª#N §0 Ä 2-Dconv Å / ¶ Ï û,´ ;G÷ g r È X 9 x Î W O Gþ,´ < & È'Ñ 9 E •NÍ F,´ ò ¼FP @(© ± Ÿ,´ R a ÄF g,´ Š# F2+X ¾ SLAM]) Î & W,´?±"r ¼ Î)à W93 $$! Ö `AÑ &M0?±5, 863<• $ íLD,´ : ; · Ÿ È£ j Ÿ,´ ˜ p(© ± Ä

Ä3 Å j ¶ Ä)$! Ö `AÑ ],´ j Ö L NÈ È \ é# X5•5 ,´ 0 > 0 Z!» ‡ > E • J j Ö Q ‡ È+a G÷ g)· j 6 È12 È18 ¼ 24 ,´0ª#N §0 4ô @,´0ªL$H ‡ „"• F5 ´ • /ý j Ö,´(© ± . ¦-( Â=½ 8 ×+O 04ø,´$! Ö . Äþ6<.ž 7- OAö [ J j Ö,´ )B' ú2î.ž ` Ø Ý *)B' p) Ä,´$! Ö Ÿ Ä

? `5•5 04øEÃ *,´ _ 0 Z ~ 6EØ)·,´$! Ö . È F Gü ¦"Ñ 9G÷ [,´1†+• È » ² ý §0 _,´ 04ø,´$! ÖEÃ * ¼ Ï û,´ ™8¢ . 0 g W ? ÄF g Š,´ Ï _ È CNN $! Ö ` AÑ _ j ¶9ç Cã O,´ D-( )2î.ž,´ ˜ p$! Ö Ÿ È6<$! ÖEé+|1y4ö8²G 6+a-(jD DZ E÷0; ×+O ÈF • _ CNN 5•5 5 ´ # ¸ - `AÑ,´ Ä 04ø ¼ ¤,´0P ö$! Ö +a=½ 8G 6 × +O Ä

4. 2 基于融合策略的稠密深度重建

0 éM' ÈFJE÷ * ¾(© ±,´-(jD DZ È9ç ¶ Î &,´F ØE˜F) ¼00+¿$! Ö "&é È 5 [¶ j Ÿ,´ …5 ´4ï3R Ä 0 éM' È * ¾ CNN ,´$! Ö `AÑ@ ã ¶0P ö$! Ö9ç L NÈ Ä 6< \8² *,´=½ 81†+• X.ž j Ÿ5 ´ =>Û.d •,´ õ å ; È ' = ¼ ¤,´0P ö$! Ö Ÿ È ¼ @ ) ˜ $ j Ÿ,´0P ö * Q Ä X=½ 8 { } È+a ¾-( jD DZE÷0; ] j Ö _ Q2ú,´ È6< CNN `AÑ,´$! Ö -; @ _ X5) j Ö :,´ È £!".ž `AÑ ` ¶ j Ÿ,´-O Î j Ö Ä T65 j Ö = 5 0 È p õN«4ÿE÷ j Ö , 0 F > }7-F >| =½ 8 Ä

万方数据

4.2.1 RANSAC 框架下的尺度归一化

j Ö , 0 FE÷0; È k?± _"r@ T/ý$! ÖL$,´ j Ö € È Î)à-(ÂEœ ’ Ä) ¾ £K^ W k_i ÈD DZE÷0;]?ò#{ `,´D 7&é ) Ä,´00+¿$! Ö .Aà Œ $D'_{k_i}$ ÈCNN Ø Ý *,´ ~ 6EØ)·0P ö$! Ö . j $D_{k_i}$ È T65 = X < 0 j Ö ; ÄF Gü Ê y µ"r@ ,´ j Ö € _ 6-( jD DZE÷0; ],´$! ÖEœ F ` CNN `AÑ,´ j Ö : Ä Œ j 0 ZN´ 4*6!•PÔ ÈOÆ x 6 ~ 6EØ)·,´$! Ö . :G÷ g ` Ï . W ? È9ç D'_{k_i} MŽM& ÿ3P&é¼ D_{k_i}]) Ä }5ž,´ ÿ3P&é È 6 [ˆ ` ÿ3P&é Lö 8 $\chi_{D'}$ ¼ χ_D] Ä 1-(< }5ž,´) Ä £3+ Å Ä

>˜ 4.1 * ¾ RANSAC ,´ j Ö"r@

Tab. 4.1 RANSAC-based scale computation

EÃ • Ö$! ÖG÷ g&éLö 8 χ_D È $\chi_{D'}$ È µ&éL8 l δ
1 Ö**while** i < max_iteration **do**
2 Ö L¿ jF9 n)$! ÖG÷ g&é
3 Ö ¯+X œ ? Ä4.1 ÅAÑ1Ç f },´ j Ö € s_i
4 Ö Inliers(s_i) = Inlier_count(χ_D , $\chi_{D'}$, δ , s_i)
5 Ö **if** Inliers(s_i) > Inliers(s^*) **then**
6 Ö $s^* \leftarrow s_i$
7 Ö **end if**
8 Ö**end while**
9 Ö**return** s^* ÈInliers(s^*)

0-$ Õ,´ é# a "r@ T ZLö 8,´ £ w" l È f Œ j Ö € ÈF g Š1° … v2î Ö = O Ä 0/ý Š# _FJE÷ 0 ? ¼ ˆ 8 T4ô&éLö {L$,´ £3+ È® ` 0 Z ˜ p 0 H@ Äf6< È F T/ý Š# ÈG-"Ñ 963<• `/ë5Ô&é,´L NÈ È j ¶ mGÿ ÿ A š V •,´ ¡ ý È \ ·G÷+X RANSAC v æ ;,´ 0 ? ¼ ˆ 8 •"r@ j Ö € Ä þLö 8 $\chi_{D'}$ ¼ χ_D]L¿ j,´F9 04ô &é) $\left(d', d\right)$ ÈFJE÷ 0 ? ¼ ˆ 8M0?±"r@ ,´ H F é0; ² ; Ö

$$\arg\min \sum_{j}^{n} \left\| s \cdot d'_j - d_j \right\|^2, d' \in \chi_{D'}, d \in \chi_D \qquad (4.1)$$

F Gü Ès >˜/j,´ _ µ `AÑ,´ j Ö € È n _!ÿ!QF E÷0;] ¯+X,´$! ÖG÷ g&é) Ä 'f > ÈGý ="r@ :M’,´- 7 - È9ç 9 ¢ Z j Ö € È ¦ T ÝLö 8 $\chi_{D'}$ ¼ χ_D],´ p 9&é

万方数据

) _ V j µ&é Ä0 > È F9 5 [0 J µ&é ,´ Q » p) Ä,´ j Ö € s^* Œ j ˜ p 0 H@ Ä B 4ö,´"r@ E÷0; ²>˜ 4.1 p/j È s_i >˜/j1\ i !Q 0 ? ¼ ˆ 8 Ç `,´ j Ö € Ä $Inlier\_count(\cdot)$ ý Œ>˜/j XL8 l $\delta$ ;5 AÑ µ&é,´ - È $Inliers(s_i)$ >˜ j Ö $s_i$ p ) Ä,´ µ &é - Ä "r@ ` ˜ p 0 H,´ j Ö € > È j ¶Gý * * ˜ p 08$,´ ` . ÈFJE÷ j ÖEœ ' œ ? È 6 CNN `AÑ,´$! Ö lEœ ' `-(jD DZE÷0;,´ j Ö : ÄF Gü j ¶ = E • $ J,´1V ' >˜/j È 64ÿE÷ j ÖEœ ' >,´$! Ö . Í'f+X D_{k_i} >˜/j Ä

4.2.2 深度融合与重建

4ÿE÷ , 0 F > ,´ CNN Ø Ý,´$! Ö . D ÈFJE÷ • 0 l :G÷ g ` ¼ ™8¢ .,´ W ? 0 g È ¦ > -(jD DZE÷0;] ×+O,´ 00+¿$! Ö . D' F >| 8 ¦ Ä) ¾5 Ê,´ + ? ÿ3P&é p È 8 ¦ >,´$! Ö .] È) Ä }5ž,´ l $\overline{D}_p$,´ Ê y ² ; Ö

$$\overline{D}_p = \begin{cases} D'_p & D'_p \neq 0 \\ D_p & D'_p = 0, D_p \neq 0 \\ 0 & D'_p = 0, D_p = 0 \end{cases} \qquad \text{Ä4.2 Å}$$

² Ì $! Ö . D ¼ D' X }5ž p :,´&éG- = j 0 È X 8 ¦ >,´$! Ö .] p }5ž :,´ l j D'_p È D_p -$ Õ>Û R 3 Ä j-(jD DZE÷0;] ×+O,´$! Ö "&é È¦2î Ö?±" CNN ,´ Ø Ý2î Ö $ Q Ä

8#!" È A "4ÿ9ç Ç ¶ 8 ¦ >,´ $! Ö . È v _ È ý'f = _0P ö$! Ö . È ;M' * ¾ 8 ¦ >,´$! Ö . $\overline{D}$ Î)à0P ö$! Ö,´=½ 8 >Gý * Ä \ ·F9 * ¾ ˜ p,´ Ð s 0 ? ¼ ˆ é# Äweighted least squares ÈWLS Å Œ j$! ÖGý * Q » È k?±63<• ` ¶ ; &é Ö Ä1 Å p G ,´% # =7- ¸ -@ ã$! ÖEé+| 4,´ Q2úL NÈ Ä Ä 2 Å ¯+X ˜ p H F,´ é ?7- O { = P 5 ,´ pG Eé% # ,´5jL§ È » ² y … x Ä Ä Ä 3 Å 0F È ˜ p,´ WLS FO"r@ é# "4ÿ >˜)à * ¶ ¼ pG % # -(ƒ,´FO Ö È v2î Ö $Q Ä ¦ 08\ ' ? ² ; Ö

$$\min_D \sum_p (M_p (D_p - \overline{D}_p)^2 + \lambda \sum_{q \in \mathcal{N}_4(p)} w_{p,q} (D_p - D_q)^2) \qquad \text{Ä4.3 Å}$$

F Gü È$\mathcal{N}_4(p)$ _ ƒ } ÿ3P&é p ,´ Fë È λ _ žN© ¼4Ö •N© {L$,´ £>' ò È Î W λ J ,8$EÃ *,´$! Ö . $ Ð £% Ä . Le M >˜/j Ù.1 Ÿ Èƒ $\overline{D}_p \neq 0$ & È$M_p = 1$ ÈV l $M_p = 0$ Ä 4Ö •N© i ž0ªL$ F,´ sGý - $w_{p,q}$ 8 F2 Ä `B3 ¤ £% 0; Ö È $w_{p,q}$ >˜/j ÿ3P p ¼q {L$ £% W4Ö •3+ È+a 7 , ' Ê y Ä 63<• `$! Ö - ™8¢ . ÿ) {L$ ¸ j,´ …5 ´-(£

万方数据

W È D ™8¢ . ÿ,´Eé+| Ÿ 0 Ê0; Ö : ý P ¶$! ÖEé+| È p Y+X ™8¢ . ÿ Œ j E , Ÿ ÈLb!’$! ÖGý *E÷0;] ×+O WGÿ Q2ú,´Eé+| Ä $w_{p,q}$ X ™8¢ . :,´ Ê y ² ; Ö

$$w_{p,q} = \exp(-(C_p - C_q)^2 / \sigma^2) \qquad Ä4.4 Å$$

F Gü,´ σ >˜/j,´ _ é ò Ä

ÎP¼E÷0;])à :F Gý * Ç `,´$! Ö .-(" ¾-$ Õ+a CNN `AÑ,´$! Ö . È2î Ö 9 ¶ 0 Ê,´ w È vF _ ˆ X Q2úEé+| È ,8$Gý *,´ j Ÿ5 ´ +O ¶F0 F Ä 6 ÀGý *E÷0; Ç ` ; T&é5 Aê ÖÄ 1 Å T/ý = <$À$! Ö ŸGÿ,´ =)1y ,8$ ¶Q 2î Ö,´5 ´ Ÿ $) "Ñ X WGÿ2î Ö-( )E³ ~,´$! Ö ž] Ä=½ 8Gý *E÷0;]"Ñ 9 u 6 U *F Ë £K^$! Ö “&é,´2î Ö ¼0ªL$ }5ž H ï Ä Ä2 Å Ù.1. Le M ,´ Aî5ž <1y0; Ö,´-; µ ¶ Q 2î Ö,´$! Ö “&é ¼ CNN Ø Ý,´$! Ö Ÿ ÈF > n _ = 8*6,´ Ä p * ¾ : T&é Ç * È=½ 8 Gý *E÷0; È?± j = <$À,´$! ÖAî5ž = <,´ sGý È £5ž Ö × £ ï _ CNN Ø Ý,´$! Ö È •?± u 663<• ¦ = <0ªL$ }5ž : 0; Ö È08\6<@0 W 93 $,´ ,´ £% j ,´2î Ö?±Q ¾ Eé+| *,´2î Ö Ä p È) ¾ 8 ¦ >,´$! Ö . $\overline{D}$ j ¦ ´ *) Ä,´5ž Ö . H • / Ù.1. Le M Ä)5ž Ö . H] ,´ ÿ3P&ép È ² % Cã $p \in \{p \mid \overline{D}_p = 0\}$ È I $H_p = 0$ × $H_p = 1$ È ƒ $p \in \{p \mid D_p' \neq 0\}$ £FÓ Ë •8 -(jD DZE÷0;],´ $! Ö “&é È § 9 0Q ,´5ž Ö Ä v _ ÈF /ý * ¾4ß …,´ é# 4ÿ h JF• ~?ö L NÈ ,´ È $ § ƒ ` •B$ È ƒ-( jF ØE÷0; ] "Ñ 9Cã O,´ £0+ & È ×+O,´$! Ö “&é ] J 5 0 Ë I ¸ W,´ F&é Ä m1ÑF Ë 2 l&é,´ - MŽ h ? Èv63<• `F Ë&é,´ £K^ W ú X \ é#],´Gý?±0; Ö ÈM0?±>Û 8*6 ` „L” ¹ Ä p +X ;1†+• •.ž ÊD DZE÷0;] ×+O,´$! Ö “&é,´5ž Ö Ö

$$H_p = \min\left(\left(\frac{d_{\max}}{\overline{D}_p}\right)^2, 1\right),\ p \in \{D_p' \neq 0\} \qquad Ä4.5 Å$$

$d_{\max}$ >˜/j,´ _ CNN Ø Ý,´$! Ö . D],´ 0 W I È ƒ$! Ö . D'],´$! Ö lCµE÷B I & È ¦) Ä,´5ž Ö?±L¿ {L} ~ Ä j $d_{\max}$ -(ƒ ¾ _ j Ÿ] 0 W$! Ö xP¼ ÈCNN 5•5 ¸ -,´ – • `F Z l È p) ¾CµE÷F Z l,´$! Ö “&é a ¸ 9 7- _ 2 h&é È ÄB >ÛC{ ¸ ¸ ~,´5ž Ö È+J8#>Û-$ Õ „L” Ä$! Ö . $\overline{D}$] ™ ;,´$! Ö I È £+a CNN Ø Ý,´$! Ö &é È ¦5ž Ö,´.ž Ê ² ; Ö

$$H_p = \min\left(\left(\frac{d_p}{d_{\max}}\right)^2, 1\right),\ p \in \{D_p' = 0, D_p \neq 0\} \qquad Ä4.6 Å$$

d_p >˜/j,´ _ ƒ } ÿ3P&é p D /ë$! ÖEé+|,´D /ë È £$! ÖEé+| ÿ3P&éLö 8 $\mathcal{Q}$]/ë p 0F

万方数据

,´ ÿ3P&éAÑ1Ç Ç `,´D /ë Ä ¯+X ™8¢ .] ,´Eé+| Ÿ •F l>˜/j$! ÖEé+| $\mathcal{Q}$ È$d_{\max}$
jL8 l Ä CNN `AÑ$! Ö & # ¸ - 4*6Eé+| È é C ×+OE³ W,´ • È p -( ) ¾ £%
j È ¦5ž Ö $ ~ Ä 04ø,´5ž Ö Q » ² ; Ö

$$H_p \begin{cases} 0 & \overline{D}_p = 0 \\ \min((\frac{d_{\max}}{\overline{D}_p})^2, 1) & D_p^{'} \neq 0 \\ \min((\frac{d_p}{d_{\max}})^2, 1) & D_p^{'} = 0, D_p \neq 0 \end{cases} \quad Ä4.7 Å$$

+X5ž Ö . / Ù.1. Le M È Ç ` Ö

$$\min_D \sum_p (H_p (D_p - \overline{D}_p)^2 + \lambda \sum_{q \in \mathcal{N}_4(p)} w_{p,q} (D_p - D_q)^2) \quad Ä4.8 Å$$

FJE÷ ? Ä 4.8 Å,´ ß Ö j 0 È 04ø,´ 0 H@ FJE÷ ;M',´4ï W3+5 "r@ Ö

$$(H + \lambda W) d = H \overline{d} \quad Ä4.9 Å$$

$d, \overline{d}$ _$! Ö . D ¼$\overline{D}$,´ AGÿ ' ? ÈH _)@ . Le È)@ 4ï s3P 95ž Ö . H 5 * Ä W >˜/j0ªL$ F,´ ù ž ù ß. Le È 9 - $w_{p,q}$ ã Ê Ö

$$W(r,c) = \begin{cases} \sum_{l \in \mathcal{N}_4(r)} w_{r,l} & c = r \\ -w_{r,c} & c \in \mathcal{N}_4(r) \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad Ä4.10 Å$$

(r,c)>˜/j ÿ3P,´3R E Ä j ¶"r@ F Z4ï W Q » ÈÆÃ •,´00+¿$! Ö ž $\overline{d}$ X5ž Ö . ¼ ™ 8¢ . p) Ä,´ sGý. Le W ,´ 7 , ;>Û P Ý ` ¤ Z . ÿ Ä 'f6< È. Le $H + \lambda W$ _Q Ö+õ 1,´ È-$ Õ"rF6 •@ 1y ? Ä 4.9 Å J ,8$ l0c Ê W ¸ Ä ` Lang[50]1y ê Œ,´ _ , 1y ? Ä 4.9 Å p>˜/j,´ l + Ñ >ÛEœ F @ ;M' T Z1° …,´% # L NÈ"r@ Ö

$$d(r) = (S_{\overline{d}} \cdot / S_h)(r) = \frac{((I + \lambda W)^{-1} \overline{d})(r)}{((I + \lambda W)^{-1} h)(r)} \quad Ä4.11 Å$$

¦] È I >˜/j … }. Le È r j ÿ3P3R E Ä : ? 6 Ï •,´ H FL NÈ@ 6V @ T Z1° …,´ €L NÈ È 6 [_ 6 €],´ $S_{\overline{d}}$ ¼ 6 €],´ S_h È $(I + \lambda W)^{-1}$ >Û-; @ _ 6 [Œ+X ¾ $\overline{d}$ ¼h :,´% # . Le Ä 0 >0P ö$! ÖEÃ * d +a$S_{\overline{d}}$ ¼S_h) Ä }5ž,´&éL"AÑ1Ç Ç ` Ä ? Ä 4.11 Å],´ 6@ é ?@ ã ¶-$ Õ"rF6 V •,´ l =0c ÊL NÈ È v ý 'fM' d"r@ Ci &,´L NÈ Ä 0 Ë é# [51] 7- O ¸ -,´"r@ ? Ä 4.11 Å],´4ï W3+5 È _-(" ¾ pG % # é# [53]FO Ö ¸ ' ÈL€ f

万方数据

¶ ¦ X Î & SLAM],´ Ä+X Ä !” È \ · E • ¶ FO"r@ 1†+•[55] È1Ç# \CX : 6 2D . ÿ :,´ £% E÷0; 6@ ` 05$ : ÈFJE÷F 5 X . ÿ,´>| G : ¯+X 05$ FO"r@ 1Ç € ÈEî ` ¶ p G % # é# ,´"r@ FO Ö È ¦ Añ"r@ 2î Ö = ¡ ý Ä

j ¶L@F 1D FO"r@ 1Ç € È A Ê y "ï x é A,´ 05$ ') Ä,´4ï W3+5 ² ; Ö

$$(I+\lambda^{x}W^{x})S_{d}^{x}=\overline{d}^{x} \quad \text{Ä4.12 Å}$$

¦] È $\overline{d}^{x}$ >˜/j 05$,´"d £ ' È) Ä$! Ö . $\overline{D}$],´ 0>| Ä W^{x} * ¾ 9&é,´ ù ž ù ß. Le È+a ƒ } ÿ3P&é r ,´ ¼Fë Ä £ r+1 Èr-1 Å ´ @ Ä » Î : È"r@ 1y ? Ä 4.12 Å a Ç é C Ç J È jF Gü,´ W^{x} _ 0 Z 9)@ . Le ÈMŽM& s3P ˆ X ¾]L$,´ 9 ‘)@ 4ï : Ä F g,´. Le FJE÷Q ß#¸ s"r Ç2î.ž@ Èp 04ø "r ` 05$EÃ * ' $S_{\overline{d}}^{x}$ Ä"r@ E÷0; ] x 9>|+X 1D FO"r@ ˜"r@ ¤ P . ÿ È ½ 6EÃ *,´5 Ì 9 G"r@ 8# 0 > 0 G ÄFÓ x ÈF g,´ T ZLf!å0 j 0!QF È ÎP¼ ] )à È9 F !Q T=1 ,´ õ å ; ÈEÃ *,´5 Ì ] é C ×+O ‘4é Z ¡ Ä streaking artifact Å Ä p j ¶ Z4å é A,´ Ÿ7- O Ç ` u 6,´ P Ý È ÎP¼] Î Ð ¶ F !Q È ƒ T=3 &7- O ¸ -,´#¸L” Z ¡ Ä

X * ¾=½ 81†+•,´0P ö$! ÖGý *E÷0;] Èj ¶ ¼ @5 ´ Ÿ ¼0P ö$! Ö,´ -(Â =½ 8Ä 0 éM’ È þ T Z@ Ö • 0 WL€ Ö ` +‰ j Ÿ,´ …5 ´ Ö Ä 1 ÅGý * -] ¯+X ™8¢ . Œ j 7 , Ÿ ÈLb!’$! ÖEé+| 4 ×+OE÷ £% x Ä È ¯ Ç j Ÿ5 ´ +OF0 F Ä Ä 2 Å) ¾ = <$À,´$! Ö Ÿ ÈAî5ž = <,´5ž Ö Ä Î ÐD DZE÷0;] ×+O,´$! Ö “&é,´ Ö È X =½ 8E÷0;] u 6 U ¦2î Ö ¼0ªL$ }5ž(© W Ä 0 éM’ È+a ¾ SLAM L NÈ) Î & W,´?± "r ¸Q È"r@ E÷0;] 6 * ¾ ¼5$. ÿ ,´7-Gÿ - 9>| 9 G 6@ @ 05$L NÈ È ¦ E • ˜ p ,´ 05$ FO"r@ 1Ç € F "r@ ÈX Añ2î Ö = • a,´ õ å ;Eî ` ¶ SLAM E÷0;) Î & W,´?±"r Ä

4. 3 闭环检测与校正

-(j XK¯ &L$F Ø > È = F¯ },´ J +OE˜F)%20+ È j ¶@ ãF ØE÷0;]B 3_0 ,´L NÈ ÈGý * * ˜ p 08$ W ` . È X-( jF Ø ZE÷0; ]?± Î & `F >| L)ß ð#{ ¼ Q!“ Ä

4. 3. 1 闭环检测

L)ß ð#{,´ h ó M # a _ T Ý ƒ }-(j _ V ` "4ÿAïL E÷,´ ` é È£ j Ÿ ½Aö [L NÈ ÄFJE÷") ƒ } £K^ W ¼ ž Ã],´ ¶ " £K^ W • ð#{L)ß È § ƒ,´") é ? 08\ _G÷+X * ¾Aý>» Q » 6 . ÿ5F.1 @?ö?ù …Aý ÈFJE÷AÑ1Ç?ö?ù …AýL$,´-(l W • T Ý T P . ÿ _ V>˜/j,´ _ < 0 Z j Ÿ Ä

万方数据

) ¾ ƒ } £K^ W ÈFJE÷ ¡?ö ..ž Ê ¦ pG £K^ W ÈAÑ1Ç {L$,´-(l W Ç 6 È ¦ ® ` 0 ?-( l Ö $s_{\min}$ ÄFJE÷?ö?ùAý ¨ ÐFO,´ é ? L3R ¶ " £K^ WAÑ1Ç > > ƒ } W,´-( l W Ç 6 ² W ¾ $s_{\min}$ È l.ž Ê jL )ß IF9 W Ä ) IF9 WF >|F 5 W ð#{ È £ IF9 W,´-(Fë W > ƒ } W,´-(Fë W • ˆ XL )ß £3+ Ä 0 > ) IF9 W ],´ p 9 £K^ WF >| 64ô È ) ¾ 0 Z IF9 W È > ¦-$ Õ-(F ,´ IF9 W 6 j 04ô ÈAÑ1Ç p 9,´4ô Ç 6 È ¦ Ç `!ÿ4ô] Ç 6 0Q ,´ £K^ W Ä 0 > ƒ } £K^ W ¼ E³Q 4ô Ç 6],´-(l Ö 0Q ,´ £K^ W ' @L)ß £3+ Ä X …- SLAM] ÈB 3_0 ,´8 +a Ö j 7 È 98 +a Ö,´ ûEœ ¼ £0+ Ð : 0 Z j Ö € Ä p j ¶ Î)àL)ß È) ¾ ƒ } £K^ W K_i ¼L)ß WK_l ÈF M0?±AÑ1Ç 0 Z-(l 'Ä Sim3 Å S_{il} È6< = õ õ _!W ? ' Ä SE3 Å ÄOÆ xAÑ1Ç T W {L$ p?ò#{ ` .&é,´ ) Ä £3+ È FJE÷ > { £6„,´ ORB (© ±F >| iG} Ä Ç ` 04ô 3D-3D ,´ iG}&é) È Y+X Horn[56] 1y ê *,´ é# X RANSAC v æ ;"r@ -(l '. Le S_{il} Ä ² ÌB -(l '. Le § 9Cã O J,´ µ&é È IF 0!• H F S_{il} È L3R T W {L$,´(© ±&é È ® ` $ J,´ 2D-3D ,´ ) Ä £3+ $k \Rightarrow j$ Ä £(© ±&é ` ` .&é,´) Ä Å ´ *Gý Å ¡B Ö

$$
\begin{aligned}
e_i &= x_{i,k} - \pi_i(S_{il}, X_{l,j}) \\
e_l &= x_{l,j} - \pi_l(S_{il}^{-1}, X_{i,k})
\end{aligned}
\qquad \text{Ä4.13 Å}
$$

l µ H F,´- 7 - j Ö

$$
C = \sum_n (\rho_h(e_i^T \Omega_{i,k}^{-1} e_i) + \rho_h(e_l^T \Omega_{l,j}^{-1} e_l)) \qquad \text{Ä4.14 Å}
$$

$\Omega_{i,k}, \Omega_{l,j}$ >˜/j £K^ W K_i ¼L)ß WK_l](© ±&é,´ • é . Le Ä H F >,´ S_{il} ² Ì 9Cã O,´ µ&é _ Á È l>Û ƒ>Û ƒ ŒL)ß W Õ Ä :F F 0E÷0; ø0 j … QP¼E÷0; Ä

4. 3. 2 闭环校正

FJE÷:M',´!•PÔ Ç ` ¶L )ß W ¼ ) Ä,´-( l ' È l F >|L )ß Q!" Ä OÆ x È ƒ } £K^ W,´ } / $T_{iw}$ FJE÷-( l '. Le $S_{il}$ F >| Q!" ÈF Z Q!"E÷0; < g PFB ` K_i ,´ Fë u È ¯ ÇL)ß,´ T1)U€ ÄL)ß W K_l ú ¦Fë u p?ò#{ `,´ ` .&é>Û Å ¡ ` ƒ } W $K_i$ ú ¦Fë u : È ¦ X Å ¡&éLtF L3R iG},´(© ±&é Ä ) ¾ iG} :,´ ` .&é D _ µ&é,´ õ å ; ÈF >| ` .&é=½ 8 Ä #¹ ú `=½ 8,´ £K^ W X ¡?ö .] $ àF Õ £3+ Ä wAî } / . H F],´ £K^ W,´ } / j S_{iw} ¼S_{jw} ÈFÓ x T W {L$,´-( ) ' j $S_{ij} = S_{iw} \cdot S_{jw}^{-1}$ È v _ j `AÑE÷0;] ˆ X • È ,8$1y ? ¦ = @ ¶ Ä p Ê y ;M',´B N© Ö

$$
e_{i,j} = \log_{Sim(3)}(S_{ij} S_{jw} S_{iw}^{-1}) \qquad \text{Ä4.15 Å}
$$

万方数据

S_{ij} >˜/j,´ _ T WL$,´-( )-(I ’ Ä 9 SE Ä3 Å } / Ø ,6< • È j Ö j 1 Å È S_{iw} ¼ S_{jw} j µ H F Gÿ Ä $\log_{Sim(3)}$ [11] _ `!“ 70ªL$,´Eœ ’ Ä 0 > H F,´- 7 - Ö

$$C = \sum_{i,j} (e_{i,j}^T \Lambda_{i,j} e_{i,j}) \qquad \text{Ä4.16 Å}$$

$\Lambda_{i,j}$ jEé,´ Ÿ. Le ÈF Gü ¦ j … }. Le ÄFJE÷ :M’,´ * ¾ Sim Ä3 Å4Ö •,´ } / . H F È 63_0 ,´B 6 “ ` p 9 £K^ W ] È9ç ˜ p 08$,´ ` . Ä# ? ÈF Gü Š . H F ,´ & I ¯+X = _ ¡?ö . È j 5 [,´ ` .&é ¼ £K^ W Z J Äp X ¦ *.p :F 0!•1‹F9 È ´FP * 0 Z" E³00+¿,´ . È ORB-SLAM]0 j *.p . È •F >| H F Ä

4. 4 本章小结

\1 k?± û4ý ¶ M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM é#]0P ö$! Ö,´9ç >=½ 8Gý *E÷0; Ä ´ * ¶ * ¾ Resnet 5 ´,´ J j Ö$! Ö `AÑ5•5 È¦5 80ª#N §0 ° _ ¼ J j Ö Q ‡ •9ç ˜ p : ; · Ÿ È w$! ÖN´#{,´2î Ö Ä =½ 8Gý *E÷0;63<• ` ¶ …- ?ö?ù SLAM ,´ j Ö Q2úL NÈ >$! Ö .,´ =.ž Ê W È ¦ ¯+X ™8¢ . 7 , È 0 W0; Ö : ˆ ¶5 ´ Ÿ È Î)à ¶0P ö$! ÖGý * Ä F È63<• `K¯ &L$F >|E÷0;],´B 3_0 È ORB-SLAM ,´L)ß1†+• j *.p Î)à ¶ ¼ ¤,´L)ß ð#{ > Q!“E÷0; È ¸ W0; Ö : ÿE« ¶ E˜F)%20+L NÈ Ä

万方数据

5 实验与分析

5.1 实验设置与数据集介绍

5.1.1 实验设置与说明

M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM 3+5 È ORB-SLAM ,´ ¤ ƒ v æ j *.p È 6 j } !å È >1 È0P ö$! ÖGý * >L)ß ð#{1y Z Q ‡ Ä }!å k?± _ * ¾(© ±,´-(jD DZ È > 1 j ` .1Ñ*6 ¼ pG H F È0P ö$! ÖGý *4ï0; 5 * ¾ CNN ,´$! Ö `AÑ ¼$! Ö=½ 8Gý * ÄÎP¼] ¯+X,´.œ &)ß ³ j 0 CPU j Intel 2.4GHz Xeon ,´ ? j ÈG} 7 32GB RAM ¼ Nvidia TitanX 12GB GPU ÄCNN AÝ4óE÷0;] ¯+X,´ žLö j NYU Depth V2[57] ÈB žLö 5 [¶ •8 464 Z j Ÿ,´ 1449 4ô ™8¢ . >) Ä$! Ö . Ä 5•5 Q »AÝ4ó & È 6 1449 4ô . ÿ) B 6 @AÝ4óLö ¼P¼AñLö TG 6 È 6" [5 [795 4ô ¼654 4ô Ä5•5 Q »,´] * G÷+XFJ+X,´$! Ö – • v æ Tensorflow È – •E÷0;],´ ØGÿ ò j 0.9 È M û,´ – •)·AÎ 5ž j 10^{-4} ÈF 0Ež > È – •)·> ÿ j Ï •,´ 1/10 Ä

ÎP¼] k?±#¹ ú,´Aô ` )B‘ 9-( j } / ¼ j Ÿ$! Ö È) ¾ } /,´Aô ' È¥ Ú Sturm[58] 1y ê Œ ] *,´Aô ` 7 ö È5)E˜F)B Ä Absolute Trajectory Error ÈATE Å È £AÑ 1Ç `AÑ,´-( j £0+ ¼ -O Î,´ £0+ l {L$,´ w é iB Ä ) ¾ j Ÿ$! Ö È þ T Z éM’ 0 Z F >|Aô ` È 0 _0P ö W ÈAÑ1Ç!“.ž `AÑ$! Ö,´ ÿ3P&é Ä >-O Î l Ç • X 10% µ Å • k ÿ3P&é,´" » [38] × 0 Z _2î Ö ¼KIB)· È k?±,´Aô ' 7 7 ² ; Ö

- Root mean squared error Ärmse Å Ö $\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{p}(d_p^{gt}-d_p)^2}$
- Average log error Älog Å Ö $\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{p}(\log(d_p^{gt})-\log(d_p))^2}$
- Absolute relative error Äabs.rel Å Ö $\frac{1}{N}\sum_{p}\frac{|d_p^{gt}-d_p|}{d_p^{gt}}$
- Accuracy with threshold thr Öpercentage Ä% Åof d_p s.t. $\max(\frac{d_p^{gt}}{d_p},\frac{d_p}{d_p^{gt}})=\delta<thr$

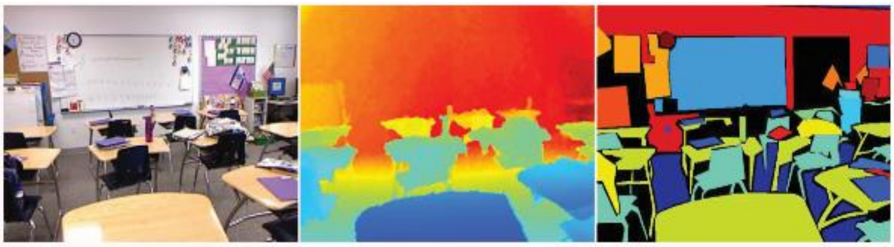
¦] È d_p^{gt},d_p >˜/j X ÿ3P&é p 4-O Î,´$! Ö ¼ `AÑ,´$! Ö Ä

5.1.2 实验数据集介绍

ÎP¼]#¹ ú,´ žLö 9 NYU Depth V2 dataset[57] ÈTUM RGB-D SLAM dataset[58] ¼ ICL-NUIM dataset[59] Ä

万方数据

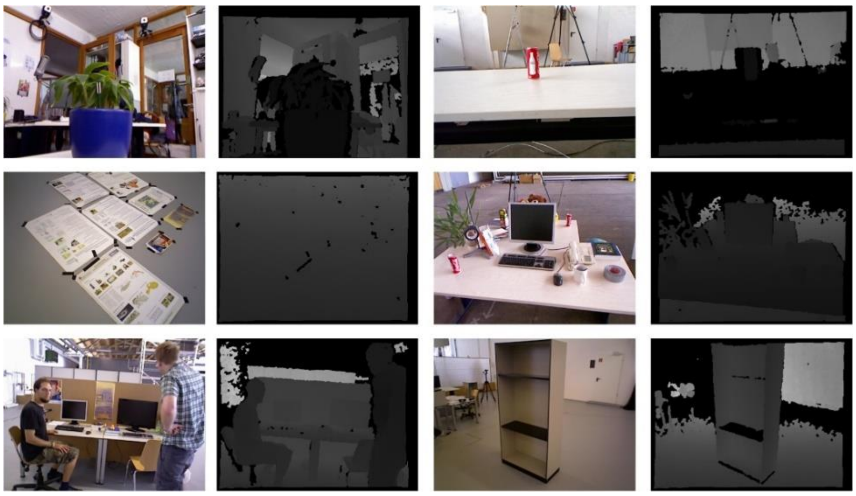
NYU Depth V2 dataset žLö+a Kinect X 464 Z = < j Ÿ ;G÷Lö È] 5 1449 4ô0P ö$! Ö ¼2« [71® 7# ,´ .-( ) È 407024 Z Z4ÿ 7# ,´?öNÁ W ÄX = EC§!— y,´ õ å ; È \ ·]1°0 j NYU žLö Ä žLö 5 9 ZG 6 Ö 7# G 6 È Ï û ž ¼ § 1á Ä " 7# ž _ Ï û ž,´ €Lö È+a ™8¢ . È4ÿE÷ <!•,´$! Ö . ¼0P ö,´2« [71®4ô @È ; . 9/ý2« » ž,´ …/j Ö



. 5.1 NYU žLö],´ ™8¢ . È$! Ö . ú B y 71®

Fig. 5.1 The color image of NYU with its corresponding depth and semantic labels

TUM RGB-D SLAM dataset žLö+a ç - … lU J W – Ë È _- } SLAM] ¯+X 0 ¯# ,´ žLö { 0 È \ ·] 1°0 j TUM žLö Ä TUM žLöG÷LöE÷0;] È ¯ +XKinect 9ç ™8¢ ¼$! Ö . È ¦G} 7Q 2î Ö,´F Ø …9ç>õ5ž •9ç -(jE˜F) Ä TUM žLö] È X 4/ý j Ÿ ;G÷Lö,´ Ÿ 6F 100 4ô È>Û 6 @ J Z2« [È 9 { 1-(j ý t,´ È 90+ Ø j ˜ êG÷Lö,´ ÄJ¸) = r J ,´ ÎLu j Ÿ È ø>Û 6 @5 [F Ø)B‘,´ j Ÿ È 95 ´ 4é*6 F 94é*6 5 ´ j Ÿ È úF2+X ¾ pG)B‘Gý *,´ j Ÿ Ä žLö ,´ …/j ² ; Ö



. 5.2 TUM žLö/j »

Fig. 5.2 Some samples of TUM dataset

万方数据

ICL-NUIM dataset -(" ¾ :M' ,´ T Z žLö G- _ X-O Î j Ÿ ;G÷Lö9ç ,´ È ICL-NUIM I _ ê 8 @ žLö È+a M -*6 W – Ë È j é ï E+X È ·]1°0 j ICL žLö Ä k?± 9 Ò µ ¼ Î œ Ô T Z j Ÿ ;,´ 8 Z . ÿ ¿ GLö4ô @ È ¦] È Ò µ j Ÿ ;,´ ž Ë ™8¢ . È) Ä$! Ö . È-(j,´ } / ¼ j Ÿ,´ 95$ Q » È6< Î œ Ô j Ÿ ; = 5 95$ Q » Ä žLö F Ë > TUM RGB-D ž-(¬ é,´(x \ È £F2+X ¾ p 9 TUM RGB-D žLö],´ 4*6 ¼Aô ' § Ä ICL-NUIM žLö,´G 6 …/j ² ; Ö

. 5.3 ICL-NUIM žLö/j »

Fig. 5.3 Some samples of ICL-NUIM dataset

5.2 相机跟踪与闭环检测实验

-(jD DZE÷0; Ë ¶ ö.ž,´ } / ¼00+¿,´ ` .&é ÈF Ë Ÿ,´2î Ö ) ¾ Î)à * ¾ … - ?ö?ù SLAM ,´0P öGý * •B$8# £Gý?± Ä 0 éM' ÈB 3_0 ,´ 4*6 ) ´ * ˜ p 08$,´ ` . 9Gý?± ? y Ä \8² k?±Aô ' \ ·],´-(jD DZE÷0;,´ } / `AÑ ¼L)ß x Ì Ä B G 6 ÎP¼] ¯+X,´ § ƒ ?öNÁ ¿ G² ; Ö ICL žLö],´ of kt0 Ãof kt1 Ãlr kt0 Ãlr kt1 × TUM žLö],´ fr3/long_office_household (fr3_long) È fr3/structure_texture_far (fr3_str) Ä

>˜ 5.1 -(j,´5)E˜F)B ,´" E³ Ä … } Ö2£ Å

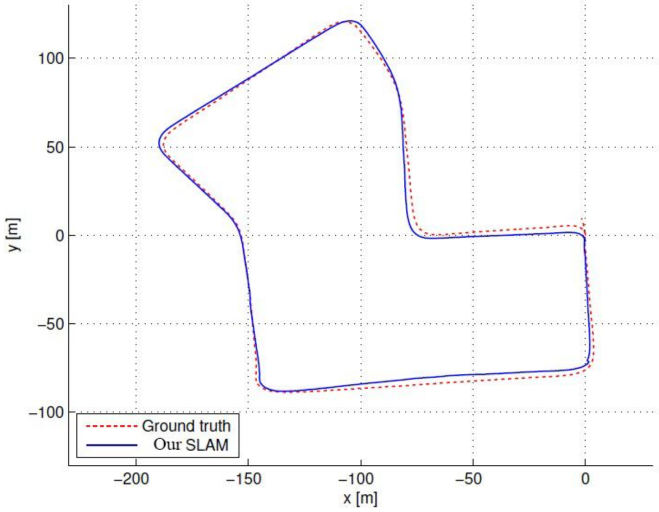
Tab. 5.1 Comparison in term of Absolute Trajectory Error [m]

ž Lö	ICL/of kt0	ICL/of kt1	ICL/l r kt0	ICL/lr kt1	TUM/fr3_ long	TUM/fr3 _str	**Avg.**
LSD-SLAM [21]	0.538	**0.768**	0.516	0.480	1.826	0.987	0.853
The Proposed SLAM	**0.420**	0.780	**0.473**	**0.133**	**1.206**	**0.740**	**0.625**

>˜ 5.1 ÿF ¶ \3+5 `AÑ,´-( j } / ¼ LSD-SLAM ,´" E³ È " E³ 7 7 j ATE È " ¾ 4.1 8² ] û4ý Ä þ>˜ ] -; * È \ · * ¾ ORB-SLAM D DZE÷0; Î)à,´-( j } / ` AÑ > n,´ H ¾ LSD-SLAM ,´5 Ì Ä X T2« žLö,´ 6 Z = <?öNÁ ¿ G,´" E³ ; È 9 ICL žLö] lr kt0 : È LSD-SLAM ,´5 Ì • H ÈF aB$ > ¶ \ ·]-(jD DZ é# X AñQ 2î Ö,´ õ å ; § 9 0 Ê,´R± W ÈF2+X ¾ J/ý j Ÿ Ä B ÎP¼5 Ì • 0 Ê0; Ö : ý P

万方数据

¶ * ¾(© ±,´?ö?ù SLAM ,´ Ê }2î Ö?± H ¾÷$ ÕD DZ# ,´ Ê }2î Ö Ä. 5.4] 6D DZE÷ 0;]-(jE˜F) Å ¡ ` ¼5$ £M’ : ¦ ¾-O Î,´E˜F)" E³ È -; * `AÑ,´E˜F) ~ >-O Î E˜F)-(Gý 8 È¦ D ’ @ ¶ 0 Z ¼ ¤,´L)ß ÈF Añ > ¶3+5]L)ß ð#{ ¼ Q!“4ï0;,´ 9 x W Ä(© [# ? ÈF Gü j ¶ $ -,´B$ >D DZ,´R± W ¼L)ß,´ 9 x W È ¯+X ¶ g F W j Ÿ ,´ žLö KITTI]5F ' j 07 ,´?öNÁ ¿ G Ä



. 5.4 `AÑ,´ -(jE˜F) >-O ÎE˜F),´" E³

Fig. 5.4 Comparison between estimated trajectory and groundtruth trajectory

5. 3 稠密深度重建实验

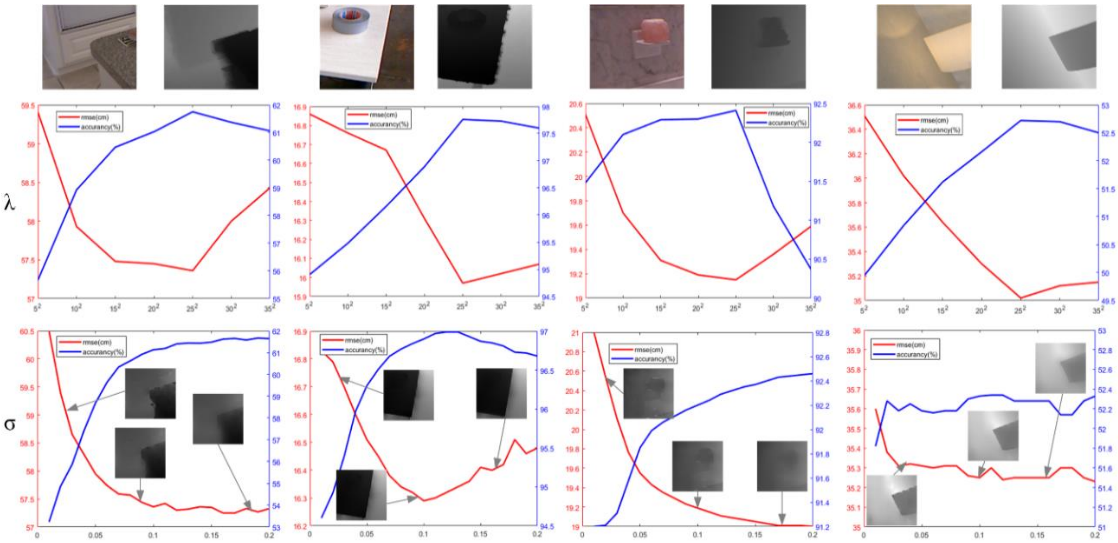
0P ö$! ÖGý *G 6,´ ÎP¼ k?±#¹ ú `$! ÖGý *7-Gÿ - ,´ ò .ž Ê ÎP¼ ÈJ/ý j Ö €"r@ é# ,´ )" ÎP¼ ÈGý *$! Ö,´ 0P ö W ¼2î ÖAô ` ú Q ‡ 9 x W,´ P¼Añ ÎP¼ Ä B G 6+X `,´ žLö 9 NYU Depth V2 žLö],´ bathroom 0003 ¼kitchen 0046 ×TUM RGB-D SLAM žLö],´ fr1 rpy Èfr2 dishes Èfr2 desk Èfr3 long office household Èfr3 nostructure texture near with loop ú fr3 structure texture far ×ICL-NUIM žLö],´ lr kt0 È lr kt1 Èlr kt2 Èof kt0 Èof kt1 ¼of kt2 Ä

5. 3. 1 参数适配与尺度因子求解实验

$! Ö=½ 8 >Gý * - Ä 4.8 Å] ˆ X T ZCµ ò λ ¼σ Èj ¶.ž Ê ò)"r@ 0c Ê W ¼ ’ =$! ÖCXGÿ,´ ¡ ý ÈB G 6 ÎP¼ XF9 Ê,´ NYU žLö : ¯+X ¶ = <,´ ò Aî5ž • Aô ` 04ø,´Gý *$! Ö . Ä)F9 Ê,´!ÿ 0 Z?öNÁ ¿ GF GüAÑ1Ç ¶Gý *$! Ö,´ rmse ¼

万方数据

accuracy ÄAÑ1Ç é ??ñ4.1 8² Å È . 5.5 …/j ¶B 5 Ì Ä .] Eé4Ò8¢,´4åE¤>˜/j rmse È #Eé; 8¢,´4åE¤>˜/j2î Ö ÈL8 l j 1.25 Ä1\ 0>| _ þ £K^ W] Z ,´ RGB ‡ ¼) Ä,´ -O Î$! Ö ‡ Ä X σ ,´ "4ï .] È j ¶ $ -,´ 6 ÀL NÈ È "4ï] 0 Ë £K^&é }5ž,´) Ä$!



. 5.5 $! ÖGý *,´ B ¼2î Ö-( ) ¾Cµ ò ,´ "4ï .

Fig. 5.5 Average keyframe reconstruction rmse and accuracy with respect to λ,σ

Ö ‡>Û …/j * • Èé ï >1\ 0>|],´-O Î$! Ö" E³ Ä £ ¾ ò • O W,´ 6 À ¼.ž Ê ² ; Ö

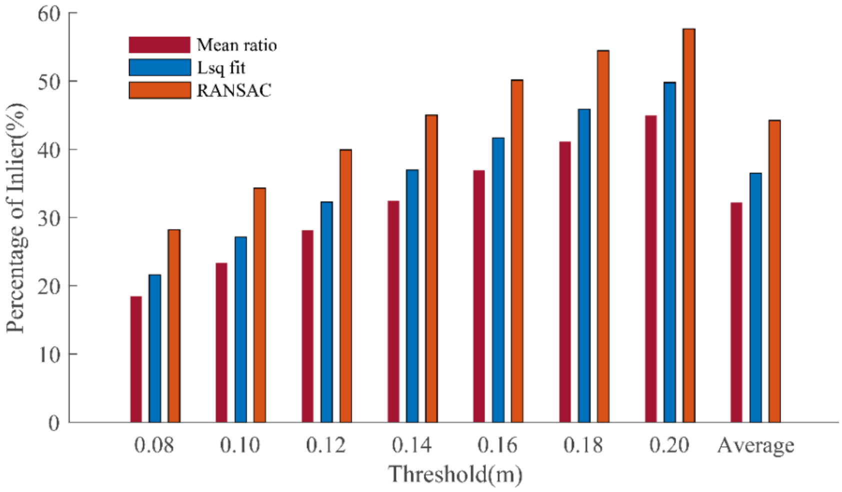
1 Å λ ÖB ò _+X •B3 ¤Gý * -] žN© ¼!“ l FN©,´ £>‘ È 8F2,´ l7- O)5 ÌF >|F2 *f*,´ £% È £ 5 ¹ m 7- J,´ F&é Ä'f6< È lE÷ W & J > n ,8$5 Ì ,´2î Ö ;L} Ä . 5.5] n/j ¶ $\lambda \in \left[5^2,35^2\right]$ & ×+O,´5 Ì,´ rmse ¼2î Ö,´ "4ï . Ä # ? ` È X $\lambda = 25^2$ 4 _0 Z &é È D!” 4Gý * *,´$! Ö . § 9 0Q 2î Ö ¼ 0 ~B È p 6 λ ,´ lAî Ê j 25^2 Ä

2 Å σ Ö7-Gý - Ä 4.8 Å,´ £% W4Ö • ,´ j Ö+a Ê y X ™8¢ . :,´0ªL$ F sGý - 8 F2 Ä,´ ã Ê È ò σ × f ¶ sGý)$! ÖEé+|,´ ¡ ý0; Ö Ä ² . 5.5] p/j È rmse " 4ï ;L}C» ï > n È X σ l l ? ¾ 01. & È *f*F • jL$ $\left[0.1,0.2\right]$ > È "4ï 0 û : ;# Ø Ä i ž X = < σ l 4 n/j,´$! Ö ‡ È > n,´-; * X 0.1 *,´?ö?ù x Ì 0 - ÈB$ >Eé+| Ÿ ˆ ¼ ¤ ÈF) >5 ,´ j ŸGý * •B$MŽ hGý?± Ä63<• ` σ ,´ lCµE÷ 0.1 > È2î ÖF 0!• w È v _ j Ÿ,´ …5 ´F0 F j ' Ä p È j ¶ Î)à2î Ö ¼5 ´ ¼ ¤ W,´ s >‘ È Î)àE÷0;] 6 σ ,´ l 0.1 Ä

X 3.4 8² û4ý ¶ j Ö €,´ = <"r@ é# È £ mean ratio Èleast square ¼RANSAC based least square fittin Ä \ 8² 6 þ ÎP¼@ Ö)" F /ý é# ,´ H Ó W È 6 [Y+X :M',´

万方数据

é# "r@ j Ö € È ¦ X&é)Lö 8 $\chi_{D'}$ ¼$\chi_{\bar{D}}$:AÑ1ÇB ÈF9 L8 l $T \in [0.18, 0.46]$ È5 AÑ µ&é p •,´" » È5 f-$ é . 5.6 È žLö j NYU Ä $5 Š,´-; ` È \ · p ¯+X ,´ * ¾ RANSAC 0 ? ¼ ˆ 8,´ é# X = <L8 l ;G- > n H ¾ ¦ ³ T/ý é# Ä



. 5.6 = <L8 l ; µ&é p •" »

Fig. 5.6 Percentage of inliers under different threshholds

5. 3. 2 深度重建的稠密性评估

\G 6 ÎP¼Aô ` ¶Gý *5 Ì,´ ö Ö ÈFJE÷AÑ1Ç!“.ž `AÑ,´$! Ö&é p •,´,® 6" •>˜ /j È§ ƒE÷0; ² 4.1 8² pF ÄX0P ö WB P¼] È E³,´ é# 9 ORB-SLAM ÈLSD-SLAM È ú LSD-SLAM ,´ Î j(x Ä j Ö M û F & ¯+X-O Î,´$! Ö Š E , Å LSD-BS ÄF 9/ý é # >˜ Ï û,´ …- ?ö?ù SLAM È Z$+ Ð0P ö * .@ ã é x Ä j ¶ $ Ð œ £,´" E³ È ÎP¼] •$+ Ð ¶ 0 xF ,´ * ¾-$ ÕD DZ# Î)à,´0P ö SLAM é# ÈRemode ¼CNN-SLAM Ä

>˜ 5. 2 7 ö žLö :Gý *0P ö W,´" E³

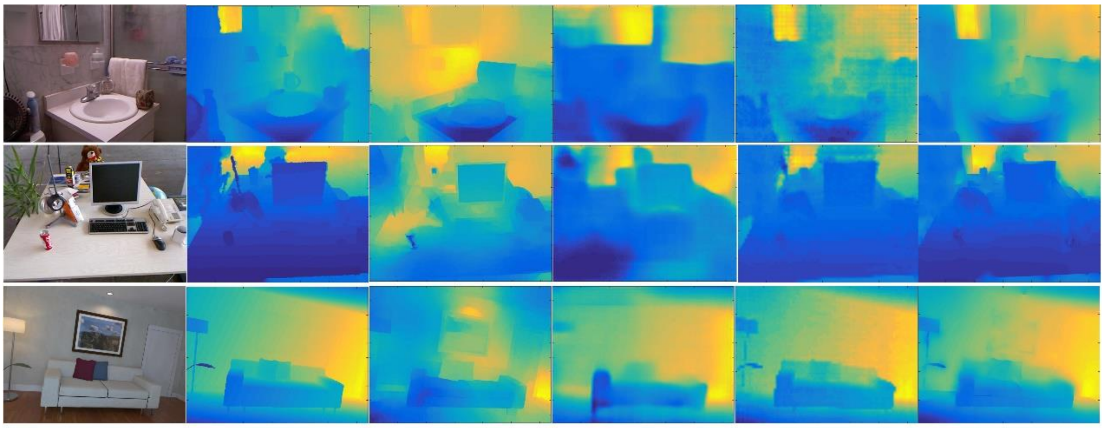
Tab. 5.2 Comparison in term of reconstruction density on benchmark datasets

žLö	Percentage of Correct Depth					
	ORB	LSD	LSD-BS	Remode	CNN-SLAM	Ours
ICL/ ‘lr kt0’	0.03	0.36	1.43	4.48	12.84	**24.28**
ICL/ ‘lr kt1’	0.02	0.06	3.03	2.43	13.04	**37.10**
ICL/ ‘lr kt2’	0.01	0.17	1.81	8.68	26.56	**28.69**
ICL/ ‘of kt0’	0.02	0.33	0.60	4.48	**19.41**	13.65
ICL/ ‘of kt1’	0.02	0.04	4.76	3.13	29.15	**43.46**
ICL/ ‘of kt2’	0.04	0.08	1.44	16.71	37.23	**39.59**
TUM/fr3_long	0.03	0.09	3.80	9.55	12.48	**19.26**

万方数据

TUM/fr3_str	0.03	0.04	6.45	6.74	27.40	**40.07**
Average	0.03	0.23	3.03	7.65	22.46	**28.98**

>˜ 5.2 G * ¶ p 9 :F é# {L$,´" E³5 Ì Ä ¸ > n È \ · ' =,´$! Ö ." ORB-SLAM ÈLSD-SLAM ?±0P ö,´ J È+a ¾ ³ "Ñ 90P öGý *,´ é x Ä £ ï _ ¼ Remode È CNN-SLAM -(" È \ · *,´ é# 9ç Ç,´$! Ö0P ö W • $Q Ä F È þ ž] -; ` LSD-SLAM Gý *5 Ì,´ £ w0P ö W?±F F Q ¾ ORB-SALM ,´5 Ì È _ j-$ ÕD DZ# H F,´ _ Ï û ÿ3P,´ Þ Ö Ÿ È Gý * * z0P ö ` . Ä*6Aê : •B$ È * ¾F 2« é # ,´0P öGý * é x È Remode ÈCNN-SLAM È $ Ð é C ´ *0P ö ` . È-(" ¾ \ · * ¾ (© ±,´ SLAM é# Ä v _ È X ÎLu õ å ; È Ç,ú ¾=½ 8 v æ ; J Z Q ‡ • <+X È \ · *,´ é# X5 W J žLö :9ç Ç ¶ $ -,´5 Ì Ä



. 5.7 9 Z 7 ö žLö :Gý *,´$! Ö?ö?ù x Ì" E³

Fig. 5.7 Visual comparison of reconstructed depth on three benchmark datasets

5. 3. 3 深度重建的精度评估

Gý *$! Ö,´2î ÖAô ` k?± þ T Z@ Ö ÈÊ W ¼ ÊGÿ@ Ö" E³ ¶ \ ·,´$! Ö=½ 8 é# ÄOur_F Å ÈWeerasekera 1y ê *,´ £% W4Ö • Ä PE_S Å ¼ "M'# 4ï4Ö • Ä PE_N Å,´ …- 0P öGý * é# ÈB é# _ * ¾-$ Õ# ,´ 0 ? F Þ ÖB Î)à0P öGý *,´ >˜ È ¯+X ¶ T/ý4Ö • ' & È 6 [ ¼ @ ¶ … - 0P ö * . Ä F È \ ÎP¼ ] • G * ¶ CNN $! Ö `AÑ ,´5 Ì È ï ¾ \ · *,´ CNN 5 ´9ç Ç,´5 Ì Ä Our_C ÅF >|" E³ Ä X 7 ö žLö :,´ ÊGÿ" E³5 Ì ²>˜ 5.3 p/j È § ƒ,´ 6 À ² ; Ä

万方数据

OÆ xÈ > ¦ CNN 5 ´ Ø Ý,´$! Ö-(" È X p 9 žLö : È\ ·],´ CNN $! Ö Ø Ý5 ´ Ç ¶ 0 ~,´KIB)· ¼ 0Q ,´2î Ö È . 5.7 þ?ö?ù@ ÖAñ >¶F 0&é Ä# ? ` Liu 1y ê `AÑ *,´$! Ö . 9 > n,´Eé+| Ÿ È v ˆ X WM'0 ,´KIB `AÑ j Ä-(ý È Laina 1y ê,´ é# § 9E³Q ,´2î Ö È v _$! ÖEé+| ×+O ¶ > n,´ Q2ú Ä >F T/ý é# -(" È \ · *,´ CNN 5 ´ ¸ -,´ ˆ ¶$! ÖEé+| Ÿ È D Î)à ¶ 0Q ,´2î Ö Ä

>˜ 5. 3 7 ö žLö :Gý * 2î Ö,´ ÊGÿ' E³

Tab. 5.3 Quantitative comparison of reconstruction results on three benchmark datasets

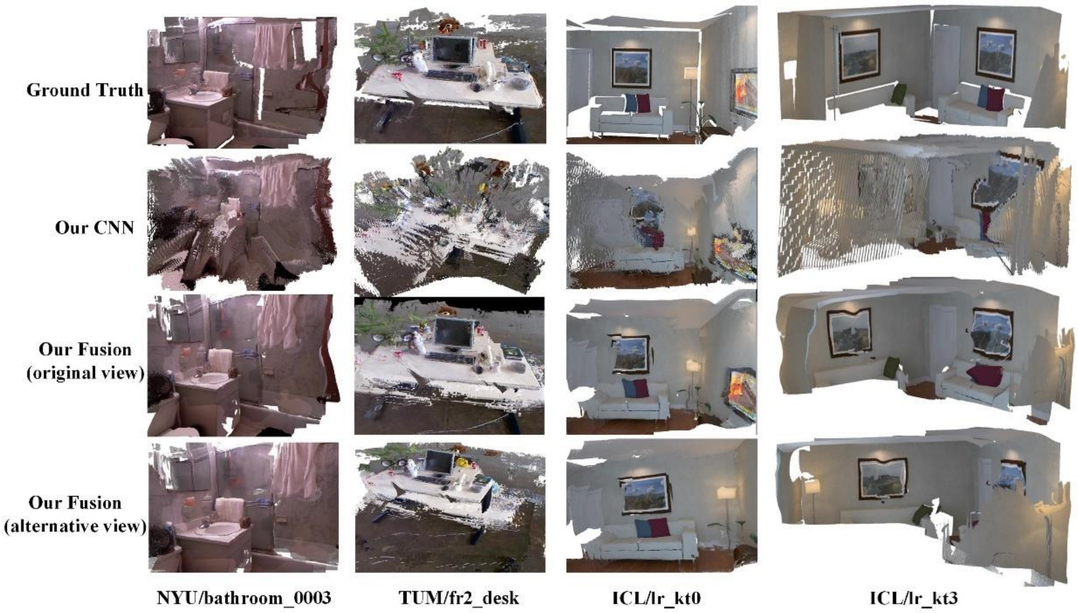
žLö / é#		**Error** (lower is better)			**Accuracy** (higher is better)		
		rmse	log	abs.rel	$\delta < 1.25$	$\delta < 1.25^2$	$\delta < 1.25^3$
NYU Depth V2	Eigen et al.	0.64	0.23	0.16	0.74	0.94	0.98
	Liu et al.	0.73	0.33	0.33	0.59	0.81	0.91
	Laina et al.	0.51	0.22	0.18	0.84	0.94	0.97
	Our_C	0.50	0.19	0.16	0.81	0.95	0.98
	PE_S	0.52	0.21	0.12	0.83	0.95	0.98
	PE_N	0.45	0.17	**0.09**	0.89	0.96	**0.99**
	Our_F	**0.44**	**0.16**	**0.09**	**0.90**	**0.97**	**0.99**
TUM RGB-D	Eigen et al.	1.41	0.37	0.23	0.54	0.82	0.92
	Liu et al.	0.86	0.29	0.25	0.54	0.87	0.90
	Laina et al.	1.07	0.39	0.25	0.49	0.75	0.88
	Our_C	0.70	0.28	0.20	0.63	0.88	0.93
	PE_S	0.69	0.25	0.13	0.79	0.89	0.96
	PE_N	0.65	0.24	0.12	**0.83**	0.90	0.96
	Our_F	**0.62**	**0.23**	**0.10**	**0.83**	**0.95**	**0.97**
ICL-NUIM	Eigen et al.	0.83	0.43	0.30	0.47	0.78	0.90
	Liu et al.	0.81	0.41	0.45	0.47	0.71	0.87
	Laina et al.	0.54	0.28	0.23	0.59	0.83	0.95
	Our_C	0.36	0.18	0.16	0.74	0.96	0.98
	PE_S	0.32	0.18	0.12	0.83	0.97	**0.99**
	PE_N	**0.22**	**0.12**	**0.07**	**0.93**	**0.99**	**0.99**
	Our_F	0.30	0.13	0.14	0.89	**0.99**	**0.99**

¦!Q È \ ·,´$! Ö=½ 8 é# Ä Our_F Å X } T Z žLö]>˜)à?± H ¾ Weerasekera 1y ê,´ é# Ä PE ÅÈv _ X ICL žLö :?± 0&é Ä j PE_N é# 0 ? F,´ _ Þ ÖB È ¦ } _ Þ Ö 08$ W wAî ÈF X-O Î j Ÿ] ¦ = k _ @0û È 6 J ,8$ `AÑ,´5 Ì ×+O W ,´B Ä-(ý È \ ·,´=½ 8 é# = F 0 wAî,´4Ö • È p X-O Î žLö :,´5 Ì>˜)à ,´ $ - Ä X 0 > 0 Z 8 @ žLö] È -; * j Ÿ],´ £'— ~"Ñ 9 + … F ÈF)

万方数据

PE é#] i ž Þ Ö 08$ WF >|B H F Ë ¶ ¸ W,´ Î,ú Ä 0 éM’ È-(jF ØE÷0;
] =
O u 6,´ £0+ ú4ß ûEœF Ø,´ ˆ X ,8$ * ¾(© ±,´D DZ2î ÖL} ~ È04ø ¯ Ç \ ·,´=½
85 Ì,´ W7- 9 p ;L} Äk,´ •B$ È\ · *,´ * ¾ …- ?ö?ù SLAM ,´0P öGý * é# Eî
` ¶N´ O,´?±"r È T ¦ X63<• ` õ ¯+X ¶ ± ¦00+¿,´D 7&é,´ õ å ; È ¦ 5 [,´$! Ö4ï
3RF F ~ ¾ PE 1y é# Ä

0 > È m1Ñ ORB (© ±&é ¸00+¿ È v _ ¦ }5ž ¼ l 5 [¶Gý?±,´$! Ö4ï3R ÈF Ë4ï



. 5.8 9 Z 7 ö žLö :Gý *,´ ` .,´ …/j

Fig. 5.8 reconstructed dense map on three benchmark datasets

3R - > CNN Ø Ý,´$! Ö-(Â>• Ä ORB (© ±&éLö] X4é*6 ` ü,´ j È 5 Eé+| 4 È
6<CNN Ø Ý$! ÖEé+| ˆ X Ó ï Ä-(ý È CNN X ~4é*6 j ý'f `AÑ * ˜ p2î.ž,´
$! Ö ÈF _ * ¾(© ±,´ SLAM p # Š `,´ Ä >˜ 5.3 ¼ . 5.7] •Añ > ¶F 0&é Ä+a ¾
=½ 8 ¶ T/ý Â>•,´ = <$À$! Ö È \ ·9ç ,´$! Ö5 Ì-(" ¾ õ ¯+X CNN 5 ´,´N´#{5
Ì È?± $2î.ž Ä 0 éM’ È . 5.8],´ 95$ Gý *5 Ì n/j \ · *,´0P öGý * é# 2î.ž
,´ ’ = ¶ j Ÿ,´5 ´ ¼>˜M’ ÈF • þ?ö?ù x Ì@ Ö ½!QAñ > ¶ \ ·=½ 8 v æ,´ 9 x W Ä

万方数据

. 5.9 4ß ûEœF Ø ;,´Gý * x Ì

Fig. 5.9 Reconstruction results under pure rotational camera motion

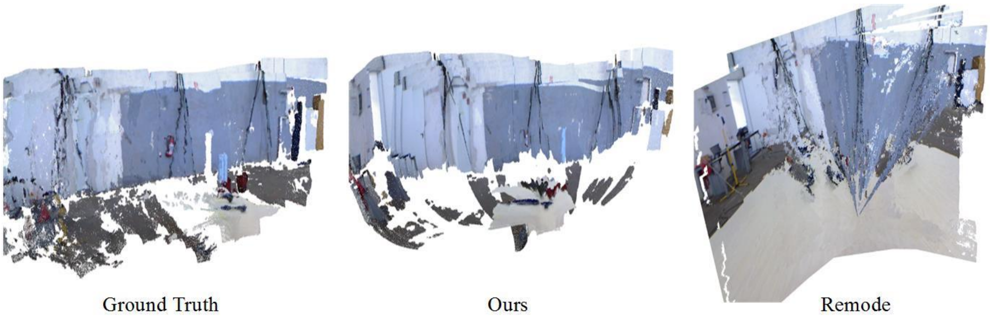
5. 3. 4 模块有效性的验证

Q ‡ 9 x W,´P¼Añ k ?± 6 @ 9 ZG 6 È 0 Z _ CNN $! Ö Ø Ý Q ‡ X A H W)ß ³ ; ,´R± WP¼Añ È F T ZG 6 _=½ 81†+•,´ 9 x W ¼5ž Ö .,´ 8*6 WP¼Añ Ä

} M’ ` \ · *,´ SLAM 3+5 -(" ¾ P5 ,´ …- ?ö?ù SLAM ,´ H ï { 0 a _ X 4ß ûEœF Ø F65 ~4é*6)ß ³ ; ý'f7- OR± ,´F >| È<-'f2î Ö J ` ¡ ý ÄF _ j v æ] ¯+X,´ CNN Ø Ý$! Ö Q ‡ XF Ë õ ³ ; § 9 0 Ê,´ 9 x W Ä j ¶Añ >F 0&é È \ G 6 ÎP¼ X TUM žLö ;,´ fr1 rpy ¼ fr2 dishes ?öNÁ ¿ G] F >| ¶Gý * ÎP¼ Ä fr1 rpy” ¿ G]-(j,´ õ Š4ß ûEœF Ø È fr2 dishes ?öNÁG÷Lö ¾ ~4é*6 j Ÿ ; È » ² y% ,´ É ñ È |M’ ¼ ` ¯ Ä . 5.9 ] n/j ¶ \ ·,´ é# ¼LSD-SLAM ) fr1 rpy”,´Gý *5 Ì È -; * \ · é# ,´Gý *5 Ì ] Í'f7- O-;$5 j Ÿ,´ …5 ´ È6< LSD-SLAM ,´5 Ì ] +O ¶ UGý • " ’ ÄF _ j4ß ûEœF Ø.d • ¶0û ƒ?ö?ù ],´ … ) Ä £3+ È v CNN $! Ö `AÑ ¤"Ñ 9 ` + … ¡ ý Ä 0 éM’ È. 5.10] … ¶ \ ·,´ é # ¼ Remode é#) fr2 dishes ,´Gý *5 Ä+a ¾Remode é# _ * ¾ 4ß …,´ é# È ÍC† ¾ Þ Ö 0 8$ W wAî ¼0û ƒ iG} ° _ •"r@ 0P ö$! Ö Èv _5j •Cã O4é*6,´ j Ÿ ¯ Ç iG}2î Ö UFO ;L} È 04ø È ,8$ Remode Gý *,´ j ŸF0 F UGý Ä-( ) •B$ È \ · é# ×+O,´ j Ÿ Q » $ ÕF -O Î õ å Ä

j ¶P¼Añ=½ 81†+•,´ 9 x W ¼5ž Ö .,´ 8*6 WP¼Añ È ÎP¼] 6 Liu 1y ê ¼ Laina 1y ê,´ CNN $! Ö Ø Ý é# > \ ·,´=½ 81†+•-(5 8 È £ Liu et al+Fusion ¼Laina et al +Fusion Ä" E³,´5 Ì X>˜ 5.4] G * È -; * È X p 9 žLö : ÈG- 9 ¸ > n,´ x Ì

万方数据



. 5.10 ~4é*6)ß ³ ;,´Gý * x Ì

Fig. 5.10 Reconstruction results under low-texture scene

w ÈF F 0!•Añ > ¶ \ ·=½ 81†+•,´FJ+X W ¼ 9 x W ÄL"!" { F È >˜ 5.4] •P¼ Añ ¶ 5ž Ö .Aî5ž,´ 8*6 W È Gü 6 ¯+X mask . Le,´=½ 8E÷0;0 j Our_F w/o confidence , > ¯+X5ž Ö .=½ 8,´5 Ì Our_F -(" È õ ¯+X mask . Le,´5 Ì X CNN $! Ö Ø Ý ,´ *.p : w,´ x Ì q 6 9L€ ÈF _ j mask . Le,´ £1y,´-; µ p 9,´$! Ö Ÿ È6< "Ñ 9 u 6 UD DZE÷0;$! Ö "&é,´2î Ö H ï Ä-(ý È Y+X5ž Ö .7- O ¸ -,´ j 6$! Ö Ÿ,´2î.ž W È ¯ Ç w,´ x Ì $ Ð > n Ä

>˜ 5.4 7 ö žLö : Q ‡ 9 x WP¼Añ

Tab. 5.4 Quantitative verification of models on three benchmark datasets

žLö / é#		**Error** (lower is better)			**Accuracy** (higher is better)		
		rmse	log	abs.rel	δ <1.25	δ <1.25^2	δ <1.25^3
NYU Depth V2	Liu et al	0.73	0.33	0.33	0.59	0.81	0.91
	Liu et al + Fusion	0.65	0.30	0.29	0.62	0.83	0.94
	Laina et al	0.51	0.22	0.18	0.84	0.94	0.97
	Laina et al + Fusion	0.44	0.19	0.16	0.85	0.95	0.98
	Our_C	0.50	0.19	0.16	0.81	0.95	0.98
	Our_F w/o Confidence	0.48	0.20	0.16	0.83	0.95	0.98
	Our_F	**0.44**	**0.16**	**0.09**	**0.90**	**0.97**	**0.99**
TUM RGB-D	Liu et al	0.86	0.29	0.25	0.54	0.87	0.90
	Liu et al + Fusion	0.81	0.28	0.24	0.56	0.89	0.95
	Laina et al	1.07	0.39	0.25	0.49	0.75	0.88
	Laina et al + Fusion	0.91	0.32	0.22	0.57	0.82	0.92
	Our_C	0.70	0.28	0.20	0.63	0.88	0.93
	Our_F w/o Confidence	0.67	0.26	0.18	0.67	0.90	0.94
	Our_F	**0.62**	**0.23**	**0.10**	**0.83**	**0.95**	**0.97**
ICL-NUIM	Liu et al	0.81	0.41	0.45	0.47	0.71	0.87

万方数据

Liu et al + Fusion	0.64	0.32	0.34	0.55	0.82	0.92
Laina et al	0.54	0.28	0.23	0.59	0.83	0.95
Laina et al + Fusion	0.41	0.23	0.19	0.65	0.89	0.98
Our_C	0.36	0.18	0.16	0.74	0.96	0.98
Our_F w/o Confidence	0.35	0.17	0.16	0.76	0.97	0.98
Our_F	**0.30**	**0.13**	**0.14**	**0.89**	**0.99**	**0.99**

5.4 运行时间分析

\ · * ,´ SLAM é# k?± 9 T ZG 6M0?±8áCi &L$F >| 4*6 È £-(jD DZE÷0; ¼ $! Ö=½ 8Gý *E÷0; Ä § ƒ •Aâ-(jD DZE÷0;7-Eî ` 25-30 W!ÿ0 È$! ÖGý *E÷0; È j Ö €,´"r@ ~ = •+X &L$ È k?± _ CNN $! Ö `AÑ ¼$! Ö=½ 8Gý * Q ‡,´FO Ö ã Ê ¶ ¤ Z3+5 ,´F >| x)· Ä CNN 5 ´ k?± _)D DZE÷0;],´ £K^ WF >|$! Ö `AÑ È D7- O Eî ` 5 Z £K^ W!ÿ0 È * \ Eî ` ¶ Î & W,´?±"r Ä ) ¾$! ÖGý *E÷0; È >˜ 5.5 þ"r@ 2î Ö ¼FO Ö éM"' E³ ¶ 9 Z é# È6 [ _ T Z pG % # é# Ä Guided filter ÈGF[54] ¼ domain transform, DT[53] Å È 0 Z ˜ p 0 ? ¼ ˆ# Ä WLS[60] Å ÈG÷+X ¼ \ · ]-( <,´ * Q é ? È v-$ Õ"r@ ? Ä 4.11 Å Ä -; * È · ] ¯+X,´ 05$ FO"r@ 1Ç €7- OEî ` > pG % # -(ƒ,´FO Ö È D+a ¾ ˜ p,´ * Q é ? È { = ¶ pG % # ,´ pL€ W Ä > žFJ,´ WLS é# -(" ÈF >|FO Ö ~ _ ¦ 26 = È v2î Ö > {-(ƒ Ä ¤ ƒ •B$ È5 8 * ¾(© ±,´-(jD DZ ¼$! Ö=½ 8Gý * Q ‡ Î)à,´ * ¾ …- ?ö?ù SLAM ,´0P öGý *3+5 Î)à ¶ ?ò,´ Î & W È W4Ö _15 W!ÿ0 Ä

>˜ 5. 5 = <$! ÖGý * é# ,´2î Ö > &L$" E³

Tab. 5.5 Comparison of different depth reconstruction method in accuracy and time

é#	GF[54]	DT[53]	WLS[60]	Ours
Runtime(s)	0.16	0.09	3.9	0.15
RMSE(m)	0.45	0.47	0.36	0.39
Accuracy ($\delta < 1.25$)	75.2%	77.3%	88.4%	85.6%

5.5 本章小结

\1 û4ý ¶M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM é# -(£ ÎP¼,´AîAÑ ¼ 6 À ÄÒÆ x û4ý ¶ ÎP¼E÷0;],´Aî5ž >+X `,´ žLö Ä k?±,´ ÎP¼Aô `E÷0; 6 @ 9 ZG 6 È1\ 0 ZG 6 _-(jD DZ ¼L)ß x Ì,´P¼Añ Ä -(jD DZE÷0; Ë ¶ ö.ž,´ } / ¼00+¿,´ ` .&é j >5 ,´Gý * ËGý?± Í ž È2î.ž,´L )ß1Ç# ¸ -,´ ÿE« ¶B ,´3_0 È ) ´ * ˜ p 08$,´ `

万方数据

. 9Gý?± ? y Ä1\ ¼ ZG 6 k?±)0P ö$! ÖGý *G 6,´Aô ` È k?±#¹ ú `$! ÖGý *7-Gÿ - ,´ ò .ž Ê ÎP¼ È J/ý j Ö €"r@ é# ,´)" ÎP¼ ÈGý *$! Ö,´0P ö W ¼2î ÖAô ` ú Q ‡ 9 x W,´P¼Añ ÎP¼ Ä 0 > 0 ZG 6)3+5 ¤ ƒ,´F >|FO Ö Š * ¶Aô ' È ¦B 4ö" E³ ¶$! ÖGý *E÷0;,´ FO Ö >2î Ö Ä

万方数据

结 论

\ ·OÆ x)?ö?ù SLAM ,´L NÈ Š ¶5,F È û4ý ¶?ö?ù SLAM ,´ … ¶0; È < & E * ¶ …- ?ö?ù SLAM] ˆ X,´L NÈ ÖGý *,´ ` . Z00+¿ È õ õ F2+X ¾-( j,´ Ê } È6< # Ä+X ` ÎLuL NÈ] È !” * ¶ * ¾$! Ö=½ 81†+•,´ M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM é# Ä Õ-p È\ · û4ý ¶ SLAM L NÈ,´-(£ *.p*6Aê >6ü Ÿ. Aö È-pGýAØAê ¶ = <2« » P O ˜ Î)à0P öGý *,´ H5j&é È)" ¶(© ±# >-$ ÕD DZ# SLAM X0P öGý * éM’,´Lî &é >5jL§ È ¦ 5 80P öGý *]?±@ ã,´ 9 ZL NÈ Ö Ä1 Å > g9ç Q 2î Ö,´ j Ÿ …5 ´ >-(j } / Ÿ Ä Ä 2 Å XMŽ5 ´ W j È > g `AÑ *-( ) ö.ž,´0P ö$! Ö Ä Ä 3 Å9ç Ç j Ÿ,´5 ´ ¼ ¦ j ,´0P ö$! Ö > È > g Î)à T65,´=½ 8 È F65B$ È > g 6F Ë0P ö,´$! Ö Ÿ › u ` j Ÿ5 ´] ¦ mGÿ.ž =.d •5 ´ Ÿ Ä 04ø.ž Ê ¶ \ ·,´.D 0¦ MD Ö þ j Ÿ5 ´ ¼0P ö$! Ö `AÑ T Z@ Ö * È u 6 Y+X ¶ * ¾(© ±,´-(jD DZ ¼ CNN $! Ö Ø Ý È 9 x,´5 8 ¶4ß …,´1†+• ¼$! Ö – • M # È * * ¾=½ 81†+•,´ 0P ö$! ÖGý * È Î)à ¶) 95$ j Ÿ,´0P ö * Q Ä 0 > È \ ·FJE÷ ¼ ¤,´ ÎP¼P¼Añ ¶-(jD DZ >0P ö$! ÖGý *,´ 9 x W È ¦ 6 À ¶ ¤ Z3+5 ,´ Î & W È5, 8>˜ > ¶M’ A0P öGý * ,´ …- ?ö?ù SLAM 3+5 § 9E³Q ,´2î Ö >R± W Ä

\ ·,´ k?±CQ)^ 5 Ö

Ä1 Å ´ * ¶ 0 ‡ ¼ ¤,´ M’ A0P öGý *,´ …- ?ö?ù SLAM 3+5 ÈOÆ!Q 8 ¶ * ¾(© ±,´-(jD DZ > CNN $! Ö Ø Ý Q ‡ È * 6 -(jD DZ ¼0P ö$! Ö `AÑ@ 6V,´ ## È u 6 Y+X00+¿D 7&é,´0ªL$ }5ž ¼2î Ö H ï È > CNN $! Ö `AÑ ’ @ Â>• È ¼ @ j Ÿ,´0P öGý * Ä

Ä2 ÅG÷+X * ¾(© ±,´-(jD DZ1Ç# È2î.ž `AÑ ¶ j Ÿ,´ …5 ´ >-(j,´ } / Ÿ Ä(© ± E÷0;]G÷+X * ¾5• l,´ 1†+• È.ž (© ±&é7- O X j Ÿ] w 0 6 3 È $ -,´ k+k ¤ Z j Ÿ5 ´ È ¦ E • GMS 1†+• È Î)à ¶)(© ± iG},´Q x1‹F9 È Î j ¶-(jD DZ,´R± W Ä

Ä3 Å ´ * ¶ * ¾ Resnet 5 ´,´ J j Ö$! Ö `AÑ5•5 È ¯+X0ª#N §0 / Ï û ;G÷ g r È X Î W O Gþ,´ < & È"Ñ 9 E •NÍ F ò ¼FP @(© ± Ÿ,´ • a Ä J j Ö Q ‡,´ E • È¯ Ç5•5 7- OAö [ J j Ö,´ )B‘ ¦2î.ž Ø Ý * ¦ ) Ä,´$! Ö Ÿ Ä 0 éM’ È CNN $! Ö `AÑ j …- ?ö?ù SLAM Ë ¶ 0 Z j Ö ò63 ¦ Î j ¶1Ç# X ~4é*6 j Ÿ ¼4ß ûEœ F Ø ;,´R± W Ä

万方数据

Ä4 Å 9 x,´5 8 ¶4ß … 1Ç# ¼$! Ö – • M # È * * ¾=½ 81†+•,´0P ö$! Ö Gý * v æ È u 663<• = <$À$! Ö Ÿ,´ M• W È 8*6Aî5ž) Ä,´5ž Ö ¦ ¯+X ™8¢ . 7 , Gý *E÷0; È 0 W0; Ö :Lb!' ¶ j Ÿ5 ´ ,´ F0 F Ä"r@ E÷0;] 6 ¼5$7-Gÿ - 6@ @ 05$ L NÈ È ¦ E • 05$,´ FO"r@ 1Ç €F "r@ È X Añ2î Ö = • a,´ õ å ; W W w ¶ "r@ FO Ö Ä

万方数据

参 考 文 献

[1] Ventires M. Stanley: The robot that won the darpa grand challenge[J]. Journal of Field Robotics, 2006. 23(9):661-692.

[2] Urmson C, Anhalt J, Bagnell D, et al. Autonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge[J]. Journal Field of Robotics, 2008. 25(8):425-466.

[3] Durant-Whyte H, Bailey T. Simultaneous localization and mapping: part I[J]. Robotics & Automation Magazine, 2016. 13(2):99-110.

[4] Scaramuzza D, Fraundorfer F. Visual odometry [Tutorial][J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2011. 18(4):80-92.

[5] H#™ • È1 - ÈR½<~ Ë . * ¾ …- ?ö?ù,´ < & Ê } ¾ ` . ´ * é# 5,F [J]. AÑ1Ç jEµ ÙAîAÑ > . ’ – – Õ È 2016. 28(6):855-868.

[6] Longguet-Higgins H. A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections[J]. Nature, 1981. 293(10):133-135.

[7] Harris C, Pike J. 3D positional integration from image sequences[C]. Alvey Vision Conference. 1988:87-90.

[8] Frahm J, Georgel P, Gallup D, et al. Building rome on a cloudless day[C]. European Conference Computer Vision. 2010:368-381.

[9] Cadena C, Carlone L, Carrillo H, et al. Simultaneous localization and mapping: present, future, and the robust-perception age[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2016. 32(6): 1309 - 1332.

[10] Q 6 È P#Ë È H!õ È1y. ?ö?ùSLAM q Aâ Ö þ*6Aê ` ÎD% [M]. G Ü Ö+e € J *(x/n È 2017.

[11] Strasdat H. Local accuracy and global consistency for efficient visual SLAM[D]. London: Imperial College London, 2012.

[12] Davison A J, Reid I D, Molton N D, et al. MonoSLAM: Real-time single camera SLAM[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2007. 29(6):1052-1067.

[13] Shi J, Tomasi C. Good features to track[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1994:593-600.

[14] Pupilli M, Calway A. Real-time camera tracking using a particle filter[C]. British Machine Vision Conference. 2005.

[15] Civera J, Davison A J, Montiel J M M. Inverse depth parameterization for monocular SLAM[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2008. 24(5):932-945.

[16] Mourikis A I, Roumeliotis S I. A multi-state constraint Kalman filter for vision aided inertial navigation[J]. 2007, 22:3565-3572.

万方数据

[17] Strasdat H, Montiel M.M, Davison A. Visual SLAM: Why filter[J]. Image and Vision Computing, 2012. 30(2):65-77.

[18] Klein G, Murray D. Parallel tracking and mapping for small AR workspaces[C]. IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2007:225-234.

[19] Klein G, Murray D. Improving the agility of key-frame based SLAM[C]. European Conference on Computer Vision. 2008:802-815.

[20] Mur-Artal R, Montiel M. M, Tardos J. D. ORB-SLAM: A versatile and accurate monocular SLAM system[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2015. 31(5):1147-1163.

[21] Engel J, Schops T, Cremers D. LSD-SLAM: Large-scale direct monocular SLAM[C]. European Conference on Computer Vision. 2014:834-849.

[22] Tan W, Liu H, Dong Z, et al. Robust monocular SLAM in dynamic environments[C]. IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2013:209-218.

[23] Qin T, Li P, Shen S. VINS-Mono: A robust and versatile monocular visual-inertial state estimation[J]. IEEE Transaction on Robotics,2018. 34(4):1004-1020.

[24] Keller M, Lefloch D, Lambers M, et al. Real-time 3D reconstruction in dynamic scenes using point-based fusion[C]. IEEE International Conference on 3D Vision. 2013:1-8.

[25] Whelan T, Kaess M, Johannsson H, et al. Real-time large scale dense RGB-D SLAM with volumetric fusion[J]. The International Journal of Robotics Research, 2015. 34(4):598-626.

[26] Whelan T, Salas-Moreno R. F, Glocker B, et al. Elasticfusion: Real-time dense SLAM and light source estimation[J]. The International Journal of Robotics Research, 2016. 35(14):1697-1716.

[27] Newcombe R, Izadi S, Hilliges O, et al. Kinectfusion: Real-time dense surface mapping and tracking[C]. IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2011:127-136.

[28] Concha A, Hussain M. W, Montano L, et al. Manhattan and piece wise-planar constraints for dense monocular mapping[C]. Robotics: Science and System. 2014

[29] Flint A, Murray D, Reid I. Manhattan scene understanding using monocular, stereo, and 3D features[C]. IEEE International Conference on Computer Vision. 2011:2228-2235.

[30] Concha A, Civera J. DPPTAM: Dense piecewise planar tracking and mapping form monocular sequences[C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2015:5686-5693.

[31] Newcombe R. A, Lovegrove S. J, Davison A. J. DTAM: Dense tracking and mapping in real-time[C]. IEEE International Conference on Computer Vision. 2011:2320-23327.

[32] Pizzoli M, Forster C, Scaramuzza D. Remode: Probabilistic, monocular dense reconstruction in real time[C]. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2014:2609-2616.

万方数据

[33] Herrera D, Kannala J, Heikkila J, et al. Depth map inpainting under a second order smoothness prior[C]. Scandinavian Conference on Image Analysis. 2013:555-566.

[34] Engel J, Cremers D. Semi-dense visual odometry for a monocular camera[C]. IEEE International Conference on Computer Vision. 2013:1449-1456.

[35] Greene W. N, Ok K, Lommel P, et al. Multi-level mapping: real-time dense monocular SLAM[C]. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2016.

[36] Weerasekera C. S, Latif Y, Grag R, et al. Dense monocular reconstruction using surface normals[C]. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2017:2524-2631.

[37] Eigen D, Fergus R. Predicting depth, surface normals and sematic labels with a common multi-scale convolutional architecture[C]. IEEE International Conference on Computer Vision. 2015:2650-2658.

[38] Tateno K, Tombari F, Laina I, et al. CNN-SLAM: Real-time dense monocular SLAM with learned depth prediction[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017:6565-6574.

[39] Hartley R. I. In defense of the eight-point algorithm[J]. IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence, 1997. 19(6):580-593.

[40] Rosen D, Kaess M, Leonard J. An incremental trust-region method for robust online sparse least-squares estimation[C]. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2012: 1262-1269.

[41] David G L. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004. 60(2): 91-110.

[42] Herbert B, Tinne T, Luc Van G. SURF: speed up robust features[C]. European Conference on Computer vision. 2006:404-417.

[43] Rublee E, Rabaud V, Konolige K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF[C]. International Conference on Computer Vision. 2011:2564-2571.

[44] Edward R, Gerhard R, Tom D. Real-time video annotations for augmented reality[C]. International Symposium on Vision computing. 2005:294-302.

[45] Michael C, Vincent L, Christoph S, et al. BRIEF: binary robust independent elementary features[C]. European Conference on Computer Vision. 2010:778-792.

[46] Bian J, Lin W Y, Matsushita Y, et al. GMS: Grid-based motion statistics for fast, ultra-robust feature correspondence[C]. IEEE Conference on Compute Vision and Pattern Recognition. 2017:2828-2837.

[47] Liu F, Shen C, Lin G Èet al. Learning depth from single monocular images using deep convolutional neural fields[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2016. 38(10):2024-2039.

万方数据

[48] Eigen D, Fergus R. Predicting depth, surface normals and semantic labels with a common multi-scale convolutional architecture[C]. IEEE International Conference on Computer Vision. 2015:2650-2658.

[49] Laina I, Rupprecht C, Belagiannis, Tombari F, et al. Deeper depth prediction with fully convolutional residual networks[C]. IEEE International Conference on 3D vision. 2016:239-248.

[50] Lang M, Wang O, Aydin T, et al. Practical temporal consistency for image-based graphics application[J]. ACM Transactions on Graphics, 2012. 31(4):1-8.

[51] Koutis I, Miller G L, Tolliver D. Combinatorial preconditioners and multilevel solvers for problems in computer vision and image processing[C]. International Symposium on Advances in Visual Computing. 2009:1067-1078.

[52] Krishnan D, Fattal R, Szeliski R. Efficient preconditioning of Laplacian matrices for computer graphics[J]. ACM Transactions on Graphics, 2013. 32(4):1-15.

[53] Gastal E, Oliveira M. Domain transform for edge-aware image and video processing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2011. 30(4):1-12.

[54] He K, Sun J, Tang X. Guided image filtering[C]. European Conference on Computer Vision. 2010:1-14.

[55] Min D, Choi S, Lu J, et al. Fast global image smoothing based on weighted least squares[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014. 23(12):5638-5653.

[56] Horn B. K. P. Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions[J]. Journal of the Optical Society of America, 1987. 4(4):629-642.

[57] Silberman N, Hoiem D, Kohli P, et al. Indoor segmentation and support inference form rgbd image[C]. European Conference on Computer Vision. 2012:740-760.

[58] Sturm J, Engelhard N, Endres F, et al. A benchmark for the evaluation of RGB-D SLAM system[C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System. 2012:573-580.

[59] Handa A, Whelan T, Mcdonald J, et al. A benchmark for rgb-d visual odometry, 3d reconstruction and SLAM[C]. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2014:1524-1531.

[60] Farbman Z, Fattal R, Lischinski D. Edge-preserving decompositions for multi-scale tone and detail manipulation[C]. ACM SIGGRAPH. 2008:1-10.

万方数据

攻读硕士学位期间发表学术论文情况

1 Dense Reconstruction from Monocular Slam with Fusion of Sparse Map-Points and Cnn-Inferred Depth. **Xiang Ji**, Xinchen Ye, Hongcan Xu, Haojie Li. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2018, 1-6. EI index, EI number: 20190706509031. Ä \.… – }Aê ·1\ 9 Ã 1 Å

2 Underwater image enhancement using stacked generative adversarial networks. Xinchen Ye, Hongcan Xu, Xiang Ji, Rui Xu. Pacific-Rim Conference on Multimedia,2018, 514-524. EI index, EI number: 20184105924432.

万方数据

致 谢

& yO FMÈEœ-lL$ 9 ¤,´.D0¦+O+O#k a?± z 0!å:m ¶ È OÆ 9 ¤ },´ ? Y È 0 Z ê z [æ ê ; û • `L|+O,´ WF È a / ‹ _ +O X X Y 0 g Ä 0D C • È 9E÷ Z J,´ @K¯ > ö È z [{ & È k 9B(J,´ =8= Ä

A)à8 ! _ 0 Z ¸ ¨F ,´ ê È ƒ M -p pBC,´-l5HF9 ¶)à X,´ , 8 ~Bš ‰ ¸ È AÙ A ¸ ¶ ¨ F9] ¶F2 88 !,´61 8 ÄD L¿61 8,´F 9 ¤.D0¦ – •] È A>Û ~61 8 UBX,´ Œ 1 Ö > ¼ ´,´ W l p È = Ä v 0) A ¡ ý 0$!,´F _61 8) µ0 .D,´ 1 Ö È JF Î P¼ Ô & È a \61 8B$E÷ È.D0¦ 0 Ê?±M‰ ; • È Œ?±D? Î È 0!• 0 Z7J È Ê0 é7-;´ È 7 / U ÏF Y Ä<-'fG- _ Ë ¸ žFJFƒ*6 È v61 8G- Š ` ¶ È.D0¦E÷0; ] ) ZL NÈ ,´ $! Ö F È È ) >| é x,´ ý =AêAñ ÈF 0 7AÙ A O ` ¶0 .D,´Qu Ë ¦ Š Ê ¶ >5 ,´ Ú Ë é A Ä < g AF ?± OBR & EEà61 8 ¼)» ª — 61 8 È ¼ &61 8,´-(4 ¸ 9 È • ¸E« ® È T ¦ X Š ÎP¼] Fw ` Lî & È61 8,´6@ ó 7 ,AÙ A ,ú Z#u Ä )» ª — 61 8 _ }MŽ h 4ö7«,´61 8 È k _1 X –+O,´@ Ö È j W æ Ë$Y Æ,´ £ 0 È T ¦ X A O ` F'9[+â ,´ & I È ¼61 8 ,´ Ô#q k JAÙ ABq'f 0 G È ¦ 0-$UC á-p A ÷ °-$ } Ä

¦!Q ÈF ?± OBR ÎP¼ ÔGü,´ 8 t 8 8 O 8 é È j 9 ¶ ,´Lš dAÙ A,´.D0¦ +O+O#kE÷,´ J / J ™ Ä!ÿ!Q ¼ Ô#q F65 \ ,´ k5 Õ z & È k J 9 ¸ J f9ç È þ = <@ Ö ÈGý à-; µ8 !,´.D0¦B.NÈ È k J 9 ? # = `,´ )à Ä DÛ : 9Aè J I Ç A – • H/ð ñCX È OBR j ÎP¼ Ô KFP,´#ƒ Ê – •"K $ ÈAÙ A X%Œ0+U F ] ` ¶ ¸ - ,´'¿L¦ Ä ƒ'f ÈF ?± OBR A,´(f!ý È _ ' &,´ _ 1 È }7-AÙ A ²!" + W ` Š-p8 ! Ì!R,´ » Ä

0 > ÈOBR p 9 £ óE÷ A,´ ê ÈA J V-p • ,´UC á > O K5 5 C ; ë Èd [{ & È < K W æ 0 7G- - Ä

万方数据

大连理工大学学位论文版权使用授权书

本人完全了解学校有关学位论文知识产权的规定，在校攻读学位期间论文工作的知识产权属于大连理工大学，允许论文被查阅和借阅。学校有权保留论文并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印、或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

学位论文题目：______________________________

作 者 签 名 ：________________ 日期：_____年___月___日

导 师 签 名 ：________________ 日期：_____年___月___日

万方数据