

Камерын загварчлал болон загварын параметрийг үнэлэх нь

Р.Амартүвшин, Д.Нанзадрагчаа, М.Баярпүрэв

Монгол Улсын Их Сургууль, Мэдээллийн Технологийн Сургууль
Цахим шуудан: amartuvshin.r@gmail.com

Хураангуй—Тоон камерын математик загварыг гаргаж, тус загвар дээр тулгуурлан хуурмаг камерын системийг матлаб програм хангамж дээр хөгжүүлсэн. Камерын параметрийг үнэлэх алгоритм боловсруулж өөрийн загварчилсан хуурмаг камер болон бодит камер(powershot g7)-ийн параметруудыг үнэлж харьцуулсан.

Түлхүүр үгс— камерын калибровка, шугаман бус оновчлол, камерын математик загвар.

I. Удиртгал

Компьютер харааны системд тулгуурлан хийгддэг үйлдвэрлэлийн автомат дамжлага, хүн хэвт робот, хөдөлгөөн илрүүлэгч, хүний нүүр танигч, биетийн хэлбэр, хэмжээ, байршил тогтоогч зэрэг системүүд нь өнөө цагт бидний хэрэглээний салшгүй хэсэг нэгэнт болжээ. Компьютер харааны системүүд алдаагүй найдвартай ажиллахын нэг үндэс бол сайн чанарын харах систем буюу ямар гажилт нөлөөгүй сайн зураг авч чадах камер юм[1]. Энэхүү судалгааны ажлын эцсийн зорилго нь камерын параметрийг үнэлж "Огторгуйн биетийн байршил тодорхойлох систем"—д хэрэглэх явдал юм. Камерын параметрийг үнэлэхдээ дараах үе шатуудыг хийж гүйцэтгэлээ:

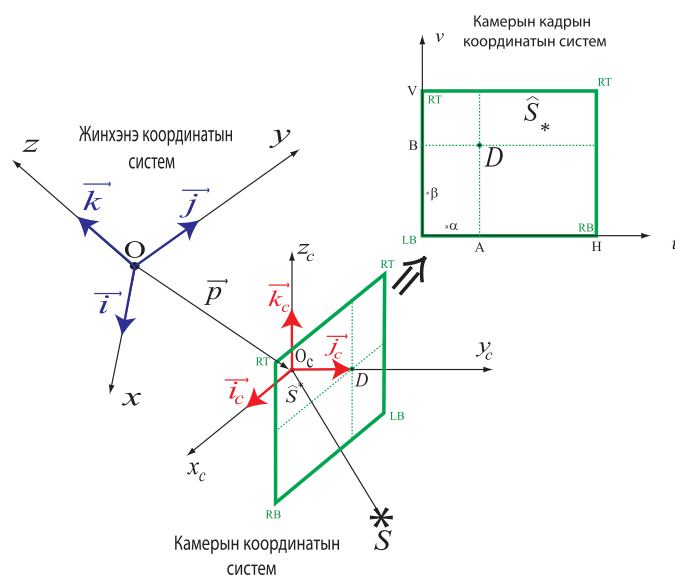
- 1) Камерын математик моделийг гаргах
- 2) Дундаж квадратлаг алдааны функцыг шугаман бус оновчлол хийх аргаар камерын параметруудыг үнэлэх.

Доорх дэд бүлгүүдэд эдгээр үе шатуудыг тус бүрт нь тайлбарлана.

II. Камерын математик модель

Камерын моделийг Зураг 1-т үзүүлэв. Энд огторгуйн координат $(x, y, z)^T$ гурвалаар өгөгдөх ба энэ жинхэнэ координатын системийн суурь векторууд нь харгалзан $\{\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}\}$ гэж тэмдэглэв. Жинхэнэ координатын системийн эхийг O гэж тэмдэглэв. Камерыг моделчлоход камерын координатын систем хэрэг болно. Камерын координатын системд цэгүүд $(x_c, y_c, z_c)^T$ гурвалаар өгөгдөх ба энэ координатын системийн суурь векторууд нь харгалзан $\{\vec{i}_c, \vec{j}_c, \vec{k}_c\}$ гэж тэмдэглэв. Камерын координатын системийн эхийг O_c гэж тэмдэглэв. Жинхэнэ координатын систем болон камерын координатын системийн суурь векторууд ортонормалчлагдсан байхаар сонгоё. Камер нь огторгуйн цэгүүдийг камерын координатын

системийн $\{x_c, z_c\}$ тэхлэгтэй параллел $y_c = 1$ хавтгай руу проекцлоно. Үүний тулд цэгүүдийг O_c цэгтэй шулуунаар холбож $y_c = 1$ хавтгайтай огтолцуулна. Жишээ нь Зураг 1 дээр S цэгийн проекц нь $\hat{S}$ болж байна. Кадр дээр $y_c = 1$ хавтгайн тодорхой нэг хэсэг л (цонх) тусгагдах ба түүн дээрх проекцлогдсон цэгүүд кадр дээр буухдаа $\{u\}$ тэнхлэгийн дагуу α дахин, $\{v\}$ тэнхлэгийн дагуу β дахин тус тус сунгагдана. Кадрын нэгж нь [pixel] байна. Эдгээр үйлдлүүдийг томъёогоор илэрхийлье.



Зураг 1. Камерын модель

Хэрэв Зураг 1 дээрх координатын системүүдийн эхүүд давхцаж байсан бол, өөрөөр хэлбэл $O_c = O$ бол, цэгүүдийн координат яаж хувирахыг харъя. Энэ тохиолдолд координат хувиралт нь шугаман огторгуйн суурь солих хувиргалттай адил болно[2]. Дурын $\vec{w}$ векторыг авч үзье. Жинхэнэ координатын системд $(x, y, z)^T$ координаттай, камерын координатын системд $(x_c, y_c, z_c)^T$ координаттай байсан гэж үзье. Тэгвэл,

$$\vec{w} = (\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = (\vec{i}_c, \vec{j}_c, \vec{k}_c) \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} \quad (1)$$

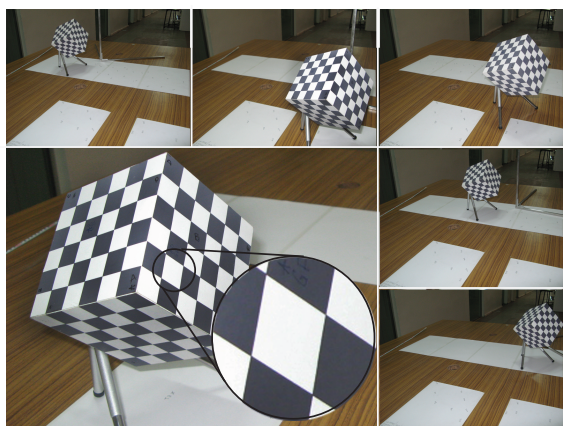
хэмжээст график байгуулж параметр тус бүрээс хэрхэн хамаарч байгааг ажиглана. Зураг 2-д үзүүлсэн графикаас J функц нь $\{\vec{p}, \alpha, \beta, A, B\}$ параметруудээс шугаман, $\{\vec{i}_c, \vec{j}_c, \vec{k}_c\}$ параметруудээс шугаман бус хамаарч байгааг ажиглаж болно. J функцийг шугаман бус параметрийг сонгож чадсанаар бид оновчлол хийх алгоритмыг тодорхойлохыг зорих болно. Оновчлол хийх функцийг хэлбэрээс хамаарч бид шугаман бус оновчлолын "Active-set algorithm" сонгон авсан. Тус алгоритм нь товчоодоо тодорхойлж өгсөн идэвхитэй мужийн хувьд шугаман бус оновчлол хийдэг практик хэрэглээ өргөнтэй оновчлолын алгоритм юм[5].

IV. Туршилт, үр дүн

Судалгааны ажлын хүрээнд дараах туршилтуудыг үе шаттайгаар хэрэгжүүлсэн.

A. Туршилт хийх өгөгдөл цуглуулах

Бодит координатын системд Зураг 3-т харуулсан куб(6х6 хар цагаан нүднүүдээс тогтсон, 12см талын урттай) биетийг огторгуйн дурын байрлалд байршуулж түүний цэгүүдийн координатуудыг тэмдэглэж туршилтын өгөгдөл($\{S_i = (x_i, y_i, z_i) \mid i = 1 \dots N\}$) цуглуулсан. Куб биетийг 21 өөр байрлалд байршуулж камерт хамгийн тод харагдах 2талыг сонгон авч тус талуудын голд оршин 5х5 шоонуудын огтлолцол болох 50 цэгийн координатыг тэмдэглэж авсан. Хэмжилт хийсэн огторгуйд координатын эхээс $\vec{p}$ зайд хөдөлгөөнгүй бэхлэгдсэн бодит камерын тусламжтайгаар куб биетийн зургыг дарсан. Хэмжилтийн үр дүнд бодит координатын системийн 1050 цэг(S_i)-ийн мэдээлэл ба бодит камерын зурагт буусан 1050 цэг($\hat{S}_i$)-ийн мэдээлэлтэй болж байгаа юм.

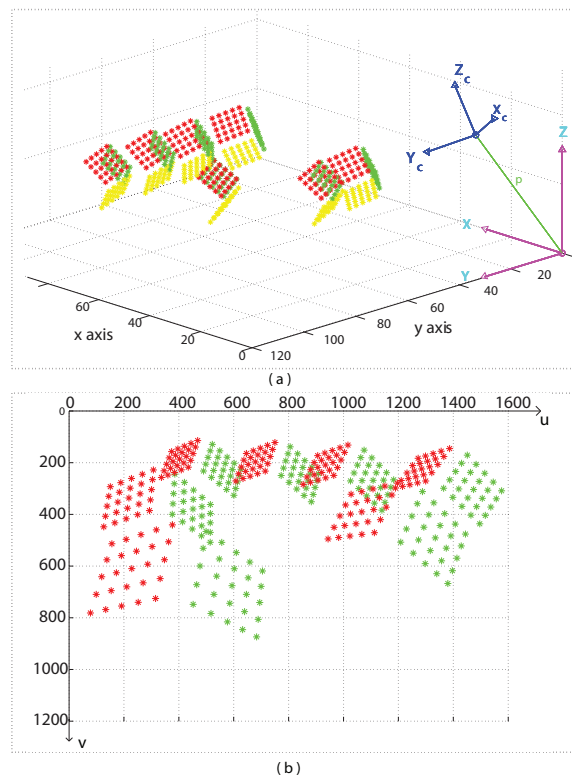


Зураг 3. Хэмжилт хийсэн талбар дээрхи кубийн бодит камераар дарсан зураг

B. Камерын загварын туршилт

IV-A хэсэгт хэмжилт хийсэн цэгүүд(S_i)-ийн координатууд, санамсаргүйгээр сонгон авсан $\{\vec{i}_c, \vec{j}_c, \vec{k}_c, \vec{p}\}$ камерын параметрийг ашиглан зураг 4-ийн а-д үзүүлсэн

хуурмаг 3 хэмжээст огторгуй($(X, Y, Z)^T$) байгуулсан. Камерын загварын ажиллагаа буюу томъёо 12-д тодорхойлогдсон $(x, y, z) \mapsto (u, v)$ буулгалтыг туршиж үр дүнг Зураг 4-ийн б-д харуулав.



Зураг 4. а) 3н хэмжээст огторгуйд орших камер болон хэмжилтийн 350 цэг(S_i), б) санамсаргүй параметр бүхий камерын загвараар дарсан кадр($\hat{S}_i$ цэгүүд)

C. Камерын параметр үнэлэх алгоритмын туршилт

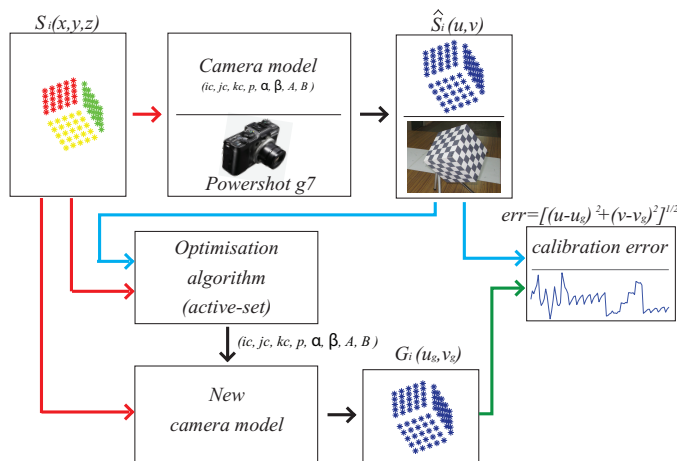
Алгоритмын ажиллагааг туршихдаа:

- 1) Огторгуйн $S_i(x, y, z)$ цэгүүд болон кадр дээрх $\hat{S}_i(u, v)$ цэгүүдийг ашиглан оновчлолын алгоритмыг ажиллуулж камерын $\{\vec{i}_c, \vec{j}_c, \vec{k}_c, \vec{p}, \alpha, \beta, A, B\}$ параметруудийг бодуулна.
- 2) Бодогдсон параметруудийн ашиглан шинэ камерын загвар үүсгэж $S_i(x, y, z)$ цэгүүдийн зургийг дарж $G_i(u_g, v_g)$ цэгүүд бүхий шинэ кадр үүсгэнэ.
- 3) $\hat{S}_i(u, v)$, $G_i(u_g, v_g)$ цэгүүдийн кадр дээрхи зөрүү($err = \{\sqrt{[(u - u_g)^2 + (v - v_g)^2]}\}$) гээр камерийн параметр үнэлэх алгоритмын алдааг шалгана[6].

Алгоритмын ажиллагааг шалгах үйлдлийн блок схемийг зураг 5-д харууллаа. Туршилтыг бодит ба хуурмаг гэсэн хоёр камер дээр хэрэгжүүлнэ. Хуурмаг камерийн загварын хувьд параметрийг үнэлэхэд алдаа гараагүй энэ нь бидний оновчлолын алгоритм математик загварыг бүх параметруудийг тооцож байгаатай холбоотой юм, Иймээс бодит камерын параметрийг үнэлэхэд анхааръя.

Камерын кадрууд (зураг 3) дээрхи куб биетийн хар

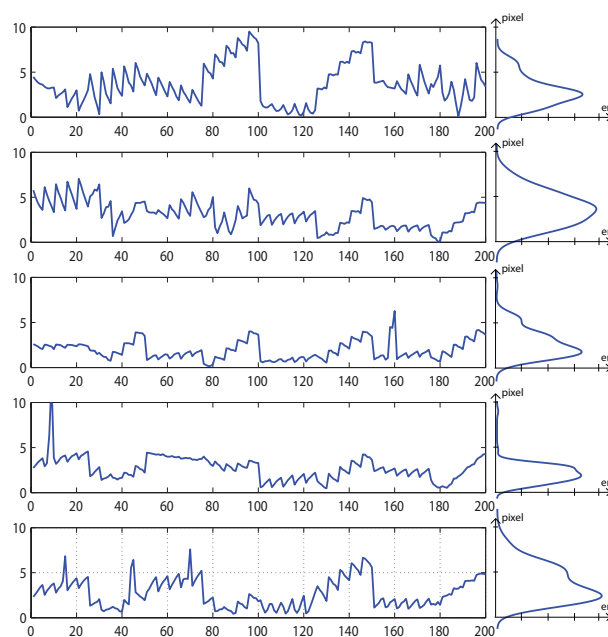
цагаан шоонуудын огтлолцол $\hat{S}_i(u, v)$ цэгүүдийн координатуудыг олохдоо бид дүрс боловсруулалтын ирмэг таних алгоритмыг боловсруулсан. Зураг 5-д үзүүлсэн дарааллын дагуу алдааны функц(err)-ийн графикийг гаргаж авсан зураг 6-д харуулав. Цэгүүдийг камертай харьцангуй байрлалаас хамааруулан 5 ангилсан бөгөөд эхний график хамгийн ойр орших цэгүүд харин сүүлийн 5 дахь нь хамгийн алс орших цэгүүдийн алдааны график юм. Графикаас харахад хамгийн их зөрүүтэй цэгийн байршил 12 цэг(пиксел)-ээр зөрсөн нь харагдаж байна. Бүх цэгийн хувьд алдааны түгэлтийг харуулсан зураг 7-с хархад нийт цэгүүдийн 80 орчим хувь нь 2-6 цэг(пиксел)-ийн алдаатай байгаа нь ажиглагдаж байна. Түүнчлэн байршилаас хамааруулж хуваасан графикаас хархад дунд хэсэг буюу камерын кадрын төв хэсгээр алдаа багатай харин кадрын булан буюу камераас алс орших цэгүүдийн алдаа өндөр байгааг хялбар харж болно. Бид цаашид байрлалаас хамаарсан алдаа их бага байгаа шалтгааны камерын линзийн гажилт буюу дистопшин параметртэй холбож камерийн линз дистопшин параметрийг үнлэхийг зорино.



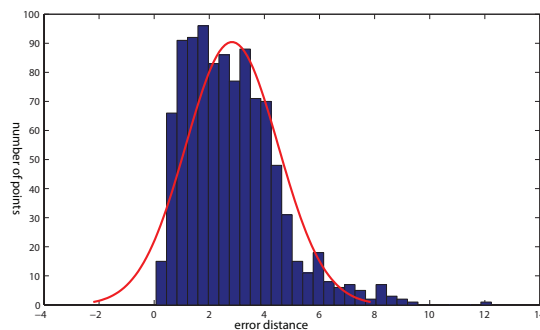
Зураг 5. оновчлолын алгоритмыг шалгах үйлдлийн дараалал блок схемээр

V. Дүгнэлт

- 1) Камерийн математик моделийг загварчилж тус загварыг бодит ба хуурмаг орчинд туршиж бидний загвар зөв ажиллаж буйг шалгасан.
- 2) 3d огторгуйд боловруулалт хийх куб биетийн 3d цэгүүдийн координат, түүний кадр дээрх байрлал зэрэг "Огторгуйн биетийн байршил тодорхойлох систем" –д хэрэглэгдэх өгөгдөл цуглуулсан.
- 3) Камерын параметр $\{i_c, j_c, k_c, p, \alpha, \beta, A, B\}$ 10 хэмжээст огторгуйн функцийг параметр тус бүрийн хувьд шинжилт камерын параметрт үнэлэх шугаман биш оновчлолын алгоритмыг хэрэгжүүлсэн. Тус алгоритмыг ашиглан "canon Powershot g7-камерийн параметрийг үнэлж алгоритмын ажиллагааг шалгасан.



Зураг 6. Зүүн багананд алдааны график (хэвтээ тэнхлэгийн дагуу: кадр дээрхи объектийн дугаар(S_i), босоо тэнхлэгийн дагуу: нэг объектийн хоёр өөр кадр дээрх зөрүү(err)), баруун багананд алдааны түгэлтийн графикийг тус тус харуулсан байна



Зураг 7. алдааны түгэлтийн график бүх цэгийн хувьд

Ном зүй

- [1] A. Albarelli, E. Rodol' a, and A. Torsello. Robust Camera Calibration using Inaccurate Targets. In Proc. of the BMVC, Aberystwyth, UK, Sep. 2010.
- [2] Richard Hartley and Andrew Zisserman. Multiple View Geometry in Computer Vision (2nd ed). Australian National University, Canberra, Australia.
- [3] K. H. Strobl and G. Hirzinger. More Accurate Camera and Hand-Eye Calibrations with Unknown Grid Pattern Dimensions. In Proc. of the ICRA, p. 1398, Pasad., USA, May 2008.
- [4] Z. Zhang. A Flexible new Technique for Camera Calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330–1334, Nov. 2000.
- [5] Nocedal, Jorge; Wright, Stephen J. (2006). Numerical Optimization (2nd ed.). Berlin, New York
- [6] Klaus H. Strobl and Gerd Hirzinger. More Accurate Pinhole Camera Calibration with Imperfect Planar Target Institute of Robotics and Mechatronics.