

Олон өнгийн гэрлийн шулуун ашиглан биетийн 3D загварыг сэргээх

Р.Амартүвшин, М.Баярпүрэв

Монгол Улсын Их Сургууль, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль

Цахим шуудан: amartuvshin@seas.num.edu.mn, bayarpurew@seas.num.edu.mn

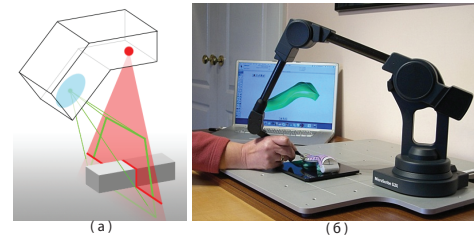
Хураангуй—Бид энэ ажлаар огторгуйн дурын биетийн 3н хэмжээст загварыг өнгөний мэдээлэлтэй хамт сэргээхийг зорьсон. Тусгай сенсор, лазер хэмжигч ашиглахгүйгээр бүтэцлэгдсэн гэрлийн шулуун ашиглан биетийн 3н хэмжээст загварыг сэргээх аргууд байдаг боловч эдгээр аргууд боловсруулах хугацаа, зураг авах тоо, биетийн өнгөнөөс хамаарч алдаатай сэргээх зэрэг шийдэгдээгүй асуудлууд олон байдаг. Бид энэ ажлаар олон өнгийн гэрлийн шулуунаас тогтсон шинэ бүтэц бүхий гэрлийн хэв үүсгэсэн. Үүсгэсэн гэрлийн шулууны тусламжтай проектор болон вэб камер ашиглан дурын өнгийн гадаргуутай биетийн 3D загварыг орчны гэрлийн нөлөөнөөс хамааралгүй сэргээх шинэлэг арга боловсруулж, туршилтын үр дүн гаргасан.

Түлхүүр үгс— 3D өгөгдөл цуглуулах, бүтэцлэгдсэн гэрэл, камерын калибровка.

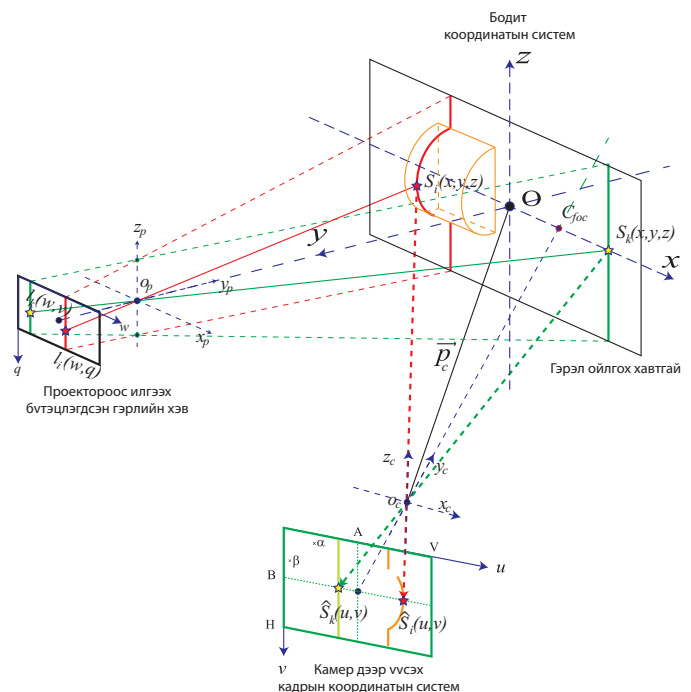
I. Удиртгал

Бидний амьдарлын салшгүй хэрэглээ болоод байгаа 3D дэлгэц, хэвлэгч зэрэг төхөөрөмжүүдийн гол өгөгдөхүүн бол яахын аргагүй бодит огторгуйн биет юм. Эдгээр төхөөрөмжүүдийн хэрэглээ өсөн нэмэгдэхийн хэрээр түүнд ашиглагдах 3D өгөгдөл их хэмжээгээр шаардагдах болсон. Биетийн 3D загвар сэргээдэг хэв авах, хэмжих зэрэг уламжлалт аргуудаас гадна сонар, лазер, үзэгдэх гэрэл мэтийн долгионы ойлт ашиглан хэмждэг гэхчилэн маш олон аргууд байдаг боловч тэдгээрт ашиглагддаг технологи, төхөөрөмжийн үнэ өртөгөөс хамааран нийтийн хэрэгцээнд нэвтрээгүй байдаг[1]. Жишээ нь, объектоо эргүүлж 3D загвар сэргээдэг нам эрчимтэй лазер сканерийн хувьд нарийвчлал сайтай боловч өнгөний мэдээлэл авч чадахгүй, жижиг хэмжээний объект дээр ашиглах боломжтой зэрэг сул тайлтай. Мөн судалгааны түвшинд шийдэгдээгүй асуудлууд алгоритм болон хэрэгжүүлэлтийн түвшинд олон бий[2]. Зураг 1-д 3D модел сэргээдэг 2 төрлийн аргын ерөнхий загварын үзүүлэлээ.

Бид энэ судалгааны хүрээнд үзэгдэх гэрлийн шулууны үүсгүүр болон тухайн шулууныг ойлгох гадаргуу ойсон гэрлийг хүлээн авах камер гэсэн үндсэн гурвалаас тогтох тригонометрийн арга дээр үндэслэн бүтэцлэгдсэн гэрлийн үүсгүүр(цаашид гэрлийн шулуун хэмээе) болон вэб камер ашиглан өндөр нягтаршилтай 3н хэмжээс загварыг гадаргуугийн өнгөний мэдээлэлтэй хамт сэргээхийг зорьсон. Биетийн 3D загвар сэргээхэд зураг 2-д үзүүлсэн P_c цэг дээр фокусын төвтэй проектороос гэрлийн шулууныг биетрүү тусгаж, C_c цэг дээр фокусын төвтэй камерын кадрт буулгаж проектороос тус-



Зураг 1: а) Лазер 3D сканерийн блок (зургийг <http://www.kreon3d.com/>-аас ашиглав), б) Контакт 3D сканер (зургийг <http://www.globalspec.com/>-оос ашиглав)



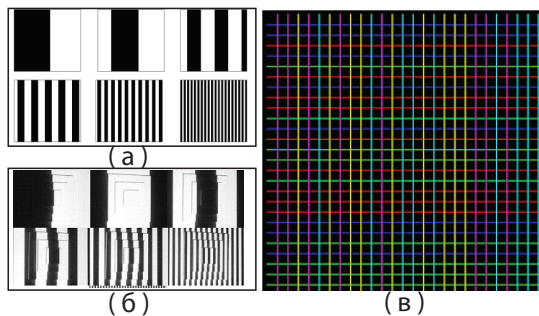
Зураг 2: Бүтэцлэгдсэн гэрэл ашигласан 3D сканерийн модель

гасан гэрлийн шулуун болон ойсон гэрлийн шулууны тусламжтай гэрэл ойлгож буй цэгийн координатыг сэргээнэ. Проектороос S_i цэгт тусаж буй шулууныг P_c цэг болон проектор үүсгэх зураг дээр (w, q) координаттай l_i цэгийн огторгуйн (x, y, z) координатын тусламжтай илэрхийлж болно. Харин S_i цэгээс камерт ирж буй шулууныг C_c болон камерын кадрт (u, v) координаттай

буусан $\hat{S}_i$ цэгийн огторгуйн (x, y, z) координатуудыг ашиглан сэргээж болно. Кадр дээрхи дүрс болон проекторт үүсэх зураг аль аль пиксел(pixel)-ээр илэрхийлэгдэнэ. Иймээс бид проекторийн $\mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$ хувиргалт болон камерийн $\mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^2$ хувиргалтын параметруудыг тодорхойлох шаардлагатай. Мөн проекторт үүсэх зургаас ижил өнгийн гэрлийн шулуунууд биет дээр тусах учираас l_k цэгт $\hat{S}_k$ харгалзах цэгийг камер дээр буусан $\hat{S}$ цэгүүдээс зөв таних нь чухал. Эдгээр асуудлуудыг шийдвэрлэж биетийн зөв 3D загварыг сэргээхийн тулд дараах үе шатуудыг хийж гүйцэтгэлээ:

- 1) Проектороос тусгах олон өнгийн гэрлийн шулуунтай зураг(хэв) үүсгэх
- 2) Камер болон проекторын загварыг дотоод, гадаад параметруудаар тодорхойлох
- 3) Биетийн 3D загварыг сэргээх

Доорх дэд бүлгүүдэд эдгээр үе шатуудыг тус бүрт нь тайлбарлана.



Зураг 3: а) хар, цагаан өнгийн бүрэлдэгдсэн гэрлүүд[6]. б) Тэдгээрийн биет дээр тусгаад харагдах байдал. в) Олон өнгийн торлосон бүтэцтэй гэрлийн шулуун бүхий хэв[7].

II. Проектороос тусгах олон өнгийн гэрлийн шулуунтай зураг(хэв) үүсгэх

Гэрлийн шулууны хэд хэдэн төрлүүд байдагийг Зураг 3-ийн (а)-д үзээлэв. 3D сканерийн нягтаршил нь биетрүү тусгаж буй гэрлийн шулуунуудын тооноос шууд хамаатай байдаг тул олон шулуун тусгавал биетийн 3D загварын чанар сайн байна. Гэвч олон гэрлийн шулуун тусгахад биетийн гадаргуунаас хамаарч шилжилт үүсдэг (зураг 3-ийн (б)) учир тэдгээрийн өөр хооронд нь ялган таньхад хамгийн гол асуудал оршино[3]. Энэ асуудлыг шийдвэрлэх үүднээс Зураг 3-ийн (в)-д үзүүлсэнтэй төстэй олон өнгийн гэрлийн шулуун ашиглах тохиолдол байдагч энэ гадаргуугийн өнгө орчины нөлөөнөөс шалтгаалан алдаатай танигдах боломжтой байдаг[4]. Орчны гэрэлтүүлэг болон гадаргуугийн өнгөнөөс хамаарч гэрлийн шулууны мэдээлэл өөрчлөгдөх тул гэрэлтэлтийн түвшин ялгаатай ижил өнгүүд хоорондоо ялгагдах магадлал маш бага учир бид үндсэн өнгө болон RGB(улаан, ногоон, хөх) өнгө болон тэдгээрийн хослол болох СМҮ(номин цэнхэр, ягаан, шар) гэсэн 6 үндсэн өнгүүдийг ашиглаж дараах $S(i)$ дарааллыг $i = \overline{1 \dots N}$, $N = 12$ үед үүсгэлээ.

$$S(i) = \begin{bmatrix} R(i) \\ G(i) \\ B(i) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Зэргэлдээ орших 2 гэрлийн шулууны хувьд өнгөний байгуулагч өөр хоорондоо дор хаяж 2 бит(өнгөний байгуулагч)-ээр ялгаатай байхаар зохион байгуулсан. Арван хоёроос дээш тооны гэрлийн шулуун үүсгэх үед тус өнгөний дарааллыг дахин ашиглах тул 1-р шулуун болон 12-р шулуун хоорондоо мөн 2 битээр ялгаатай байна.

$$\begin{bmatrix} R(i) \\ G(i) \\ B(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Өнгөний RGB байгуулагч тус бүрд нь задалж бидний өмнө тодорхойлсон нөхцөл ёсоор томъёо 2-д үзүүлсэн байдлаар анхны утга оноов. Энд N_p, L_p нь харгалзан проектор үүсгэх зургын цэгийн тоо буюу өргөн, гэрлийн шулуунуудын тоог илэрхийлнэ.

$$C(k) = \cos\left(\frac{2\pi L_p k}{N_p}\right), k = (1 \dots \frac{N_p}{L_p}) \quad (3)$$

Тасалгааны гэрэл, нар, биетийн гадаргуу зэргээс гадна, проекторын чадал, камерын сенсорт зэрэг хүчин зүйлсээс хамаарч гэрлийн шулуун байгуулагч өөрчлөгдөж шулуунаа илрүүлэхэд хүндрэл үүснэ. Гэрлийн шулууныг гажуудуулах нөлөөллүүдийг LTI системтэй зүйрлэж болно. Иймээс бид гэрлийн шулуун $C(k)$ -г синусойд хэлбэрийн эрчимтэй байхаар үүсгэлээ.

$$\begin{aligned} X_R(j) &= R\left(\frac{j}{L_p}\right) \sum_{k=0}^N \delta\left(j - k \frac{N_p}{L_p} + L_{phase}\right) \\ X_G(j) &= G\left(\frac{j}{L_p}\right) \sum_{k=0}^N \delta\left(j - k \frac{N_p}{L_p} + L_{phase}\right) \\ X_B(j) &= B\left(\frac{j}{L_p}\right) \sum_{k=0}^N \delta\left(j - k \frac{N_p}{L_p} + L_{phase}\right) \\ j &= (1 \dots N_p), l_{phase} = (1 \dots \frac{N_p}{L_p}) \end{aligned} \quad (4)$$

Улаан, ногоон, хөх өнгөний байгуулагч тус бүрээр нь X_R, X_G, X_B импульсийн цувааг өнгөний даралал(C) болон фаз(L_{phase})-с хамааруулж үүсгэв. Импульсийн цуваа X_R, X_G, X_B -д өнгөний байгуулагч нэг түүвэр буюу нэг цэгийн өргөнтэй байгаа тул үүнийг томъёо 3-д үүсгэсэн синусойдтой конволюци хийж проекторт үүсгэх зураг $I(j)$ -г үүсгэнэ.

$$I(j) = \begin{bmatrix} I_R(j) \\ I_G(j) \\ I_B(j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(k) * X_R(j) \\ C(k) * X_G(j) \\ C(k) * X_B(j) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Томъёо 1-5-г ашиглан үүсгэсэн синусойд хэлбэрийн өнгөний байгуулагчтай 12 өнгийн гэрлийн шулууны хэвийг зураг 4-д үзүүлэв.



Зураг 4: Синусойд байгуулагчтай 12 өнгийн гэрлийн шулууны хэв

Энд үүсгэсэн гэрлийн шулууны хэвийг Зураг 2 дээр үзүүлсэн P_c цэг дээр фокусын төвтэй проекторийн тусламжтай биетрүү гэрэлтүүлэх юм.

III. Камер болон проекторын загварыг дотоод, гадаад параметруудаар тодорхойлох

Энд зураг 2-д үзүүлсэн $(x, y, z)^T$ гурвал нь огторгуйн координатыг илэрхийлж, уг системд $(x_p, y_p, z_p)^T$ координаттай o_p цэгт эхтэй $(x_p, y_p, z_p)^T$ гурвалаар проекторын координатуудыг илэрхийлж тус координатын систем y_p тэнхлэгээс нэгж зайд орших түүнтэй перпендикуляр $I_i(w, q)$ хавтгайгаар проекторын зургыг тэмдэглэе. Үүнтэй адилаар бодит координатын системд $(x_c, y_c, z_c)^T$ координаттай o_c цэгт эхтэй $(x_c, y_c, z_c)^T$ гурвалаар камерын координатуудыг илэрхийлж тус координатын систем y_c тэнхлэгээс нэгж зайд орших түүнтэй перпендикуляр $\hat{S}_i(u, v)$ хавтгайгаар камерын кадрыг тэмдэглэе. Эндээс бид камерын зураг авах процесс буюу $\mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^2$ буулгалтыг Р.Амартүвшин нарын [8]-д тодорхойлсоноор камерын координатыг жинхэнэ координатын системд тэдгээрийн суурь векторууд $\{\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}\}$, $\{\vec{i}_c, \vec{j}_c, \vec{k}_c\}$ -г ашиглан задалж бичвэл

$$(\vec{i}_c, \vec{j}_c, \vec{k}_c) = (\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}) \begin{pmatrix} i_{c1} & j_{c1} & k_{c1} \\ i_{c2} & j_{c2} & k_{c2} \\ i_{c3} & j_{c3} & k_{c3} \end{pmatrix} \quad (6)$$

болно. Эндээс жинхэнэ координатын системд $(x, y, z)^T$ координаттай орших цэг камерын картд буух (u, v) координат нь:

$$\begin{aligned} u &= \alpha_c \frac{i_{c1}(x - p_{c1}) + i_{c2}(y - p_{c2}) + i_{c3}(z - p_{c3})}{j_{c1}(x - p_{c1}) + j_{c2}(y - p_{c2}) + j_{c3}(z - p_{c3})} + A_c \\ v &= \beta_c \frac{k_{c1}(x - p_{c1}) + k_{c2}(y - p_{c2}) + k_{c3}(z - p_{c3})}{j_{c1}(x - p_{c1}) + j_{c2}(y - p_{c2}) + j_{c3}(z - p_{c3})} + B_c \end{aligned} \quad (7)$$

байна. Камерийн кадр дээр (u_0, v_0) координаттай цэг жинхэнэ координатын системийн $y_c = 1$ хавтгай дээрхи координатыг олбол.

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{c1} & j_{c1} & k_{c1} \\ i_{c2} & j_{c2} & k_{c2} \\ i_{c3} & j_{c3} & k_{c3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{u_0 - A_c}{\alpha_c} - p_{c1} \\ 1 - p_{c2} \\ \frac{v_0 - B_c}{\beta_c} - p_{c3} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Гэдгээс харвал камерын кадр дээрхи цэгээр объектын 3-хэмжээст координатыг нэмэлт мэдээлэлгүйгээр сэргээх боломжгүй харин түүнийг камерийн координатын эх O_c -тэй холбосон шулууныг сэргээж болно.

$$r(t) = \begin{pmatrix} p_{c1} \\ p_{c2} \\ p_{c3} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 - p_{c1} \\ y_0 - p_{c2} \\ z_0 - p_{c3} \end{pmatrix} t \quad (9)$$

Энэ $r(t)$ нь биетийн гадагуу дээрээс ойсон гэрлийн шулууны тэгшитгэл юм.

Одоо проекторын зураг гаргах процесс буюу $\mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$ буулгалтыг тодорхойлоё. Проекторын зураг дээр (w_0, q_0) координаттай цэгийн проекторын координатын систем дэх $y_p = 1$ хавтгай дээрх проекц нь

$$\begin{pmatrix} x_p = \frac{w_0 - A_p}{\alpha_p} \\ y_p = 1 \\ z_p = \frac{q_0 - B_p}{\beta_p} \end{pmatrix} \quad (10)$$

байна. Эндээс жинхэнэ координатын систем дэх координат

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{p1} & j_{p1} & k_{p1} \\ i_{p2} & j_{p2} & k_{p2} \\ i_{p3} & j_{p3} & k_{p3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{w_0 - A_p}{\alpha_p} - p_{p1} \\ 1 - p_{p2} \\ \frac{q_0 - B_p}{\beta_p} - p_{p3} \end{pmatrix} \quad (11)$$

гэдгээс бид камерын кадр дээрхи цэгээс 3D координатыг сэргээж болохгүйтэй адил $y_p = 1$ хавтгай дээрхи (x_p, y_p) цэгийг проекторын координатын эх O_p -г дайрсан шулуунаар илэрхийлэх боломжтой.

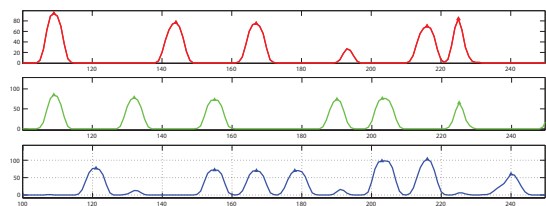
$$r(t) = \begin{pmatrix} p_{p1} \\ p_{p2} \\ p_{p3} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_p - p_{p1} \\ y_p - p_{p2} \\ z_p - p_{p3} \end{pmatrix} t \quad (12)$$

Ингээд бид огторгуйн цэгийн координатыг сэргээхийн тулд (9) болон (12) томъёогоор өгөгдсөн 2 шулууны огтлолцлыг олох шаардлагатай учраас бид проекторын параметрууд болох $(\vec{i}_p, \vec{j}_p, \vec{k}_p, \vec{p}_p, \alpha_p, \beta_p, A_p, B_p)$, камерын параметрууд болох $(\vec{i}_c, \vec{j}_c, \vec{k}_c, \vec{p}_c, \alpha_c, \beta_c, A_c, B_c)$ -г үнэлэх хэрэгтэй юм.

IV. Биетийн 3D загварыг сэргээх

A. Камерт буусан зургаас гэрлийн шулууныг илрүүлэх

Энэ хэсэгт проектороос биетрүү тусгасан гэрлийн шулуунуудыг камерт буусан 2 хэмжээст өнгөт зураг $[\hat{S}(u, v)]$ -с илрүүлнэ. Боловсруулах зургыг $\hat{S}_R(u, v)$, $\hat{S}_G(u, v)$, $\hat{S}_B(u, v)$ гэж RGB өнгөний байгуулагчдаар нь задалж тус бүрээс нь $\forall v_0 \in [1, H]$ байх u тэнхлэгтэй параллел хөндлөн огтлолыг авбал харгалзан $\hat{S}_R(u)$, $\hat{S}_G(u)$, $\hat{S}_B(u)$ болно зураг 5-д харуулав. Эдгээр функцүүдийн дотоод максимум цэгүүд нь ту-



Зураг 5: RGB өнгөний байгуулагч $(\hat{S}_R(u), \hat{S}_G(u), \hat{S}_B(u))$ функцүүд

хайн шулууны өнгө болон байрлалыг илэрхийлж чадна. Ижил өнгийн шулуун олон тоогоор орж байгаагаас шалтгаалан камерт буусан шулуунуудыг өөр хооронд нь зөв ялгаж таних нь чухал. Жишээ нь: зураг 2-д үзүүлсэн проекторт үүсгэсэн $I_i(w)$ шулуун биетийн гадаргууд дээр буухдаа камерын харах өнцөгөөс шалтгаалан хэвтээ тэнхлэгийн дагуу шилжилт хийсэн байна. Үүнээс гадна өнгөний байгуулагчдын өөрчлөлтөөс хамаарч шулууныг буруу таних магадлалтай. Эдгээр хүчин зүйлсийг харгалзан үзэж проектор үүсгэсэн гэрлийн шулуунуудын өнгөний код (улаан=1, ногоон=2, хөх=4, номин цэнхэр=6, ягаан=5, шар=3)-оор $S1[1...n]$ дараалал, кадр дээрээс илрүүлсэн шулуунуудын өнгөний кодоор $S2[1...n]$ дарааллуудыг тус тус үүсгэе. Эдгээр хоёр дарааллаас хоорондоо огтлолцоогүй өнгөний кодоороо тэнцүү байх хосуудыг олох бодлого бодъё.

B. Биетийн 3D координатыг сэргээх

Биетийн гадаргуугийн 3D координатыг сэргээхдээ III-р бүлэгт үзүүлсэн (9) болон (12) томъёогоор өгөгдсөн 2 шулууны огтлолцлын цэгийн ашиглана. Камерын эргэлтийн параметруудийг $\vec{i}_c = (i_{c1}, i_{c2}, 0)^T$, $\vec{j}_c =$

```

Data:  $S1[1..n], S2[1..m]$ 
Result:  $pairs[2][1..k]$ 
for  $i$  in  $[1..n]$  do
  for  $j$  in  $[1..m]$  do
    if  $S1[i] = S2[j]$  then
       $a[i][j] \leftarrow a[i-1][j-1] + 1$ 
    else
       $a[i][j] \leftarrow \max(a[i][j-1], a[i-1][j])$ 
    end
  end
end
end
 $i = n, j = m;$ 
 $k = 1;$ 
while  $i > 0$  and  $j > 0$  do
  if  $S1[i] = S2[j]$  then
     $pairs[1][k] \leftarrow i;$ 
     $pairs[2][k] \leftarrow j;$ 
     $k \leftarrow k + 1$ 
  else
    if  $a[i][j-1] < a[i-1][j]$  then
       $i \leftarrow i - 1$ 
    else
       $j \leftarrow j - 1$ 
    end
  end
end
end

```

Algorithm 1: хоорондоо огтлолцоогүй өнгөний кодоороо тэнцүү шулуунуудын хосуудыг олох алгоритм

$(j_{c1}, j_{c2}, 0)^T, \vec{k}_c = (0, 0, 1)^T$ байхаар, жинхэнэ координатын эхээс харьцангуй зайг $\vec{p}_c = (p_{c1}, p_{c2}, 0)$ буюу координатын x, y хавтгай дээр байхаар сонгож томъёо 9-г задалж бичвэл

$$r(t) = \begin{pmatrix} p_{c1} \\ p_{c2} \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -p_{c1} - i_{c1}(p_{c1} + \frac{A_c - u_0}{\alpha_c}) - j_{c1}(p_{c2} - 1) \\ -p_{c2} - i_{c2}(p_{c1} + \frac{A_c - u_0}{\alpha_c}) - j_{c2}(p_{c2} - 1) \\ -\frac{B_c - v_0}{\beta_c} \end{pmatrix} \quad (13)$$

$t \in \mathbb{R}$ хэлбэртэй болно. Харин проекторын эргэлтийн параметруудыг $\vec{i}_p = (-1, 0, 0)^T, \vec{j}_p = (0, -1, 0)^T, \vec{k}_p = (0, 0, 1)^T$ байхаар тохируулж, жинхэнэ координатын эхээс харьцангуй зайг $\vec{p}_p = (0, p_{p2}, 0)$ буюу координатын y тэнхлэг дээр байхаар сонгож томъёо 12-г задалж бичвэл

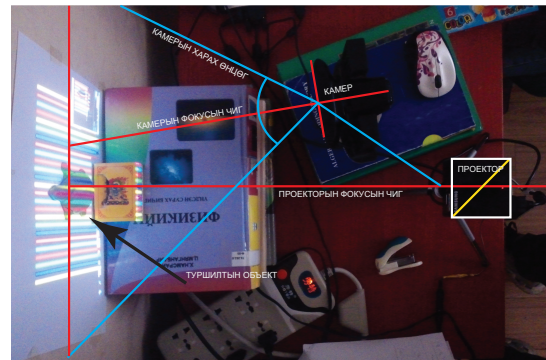
$$\hat{r}(\tau) = \begin{pmatrix} 0 \\ p_{p2} \\ 0 \end{pmatrix} + \tau \begin{pmatrix} \frac{A_p - w_0}{\alpha_p} \\ -1 \\ -\frac{B_p - q_0}{\beta_p} \end{pmatrix} \quad (14)$$

$\tau \in \mathbb{R}$ хэлбэртэй болно. Эндээс бид 3 үл мэдэхтэй систем тэгшитгэл бодох шаардлага гарах ба хэрвээ камер болон проекторын параметруудыг алдаатай үнэлсэн бол шулуунууд хоорондоо огтлолцохгүй байх магадлал өндөр юм. Түүнчлэн бид босоо тэнхлэгийн дагуу үргэлжилсэн шулуун ашиглаж байгаа учир тухайн шулууны хувьд камерын (v_0)

болон проекторын (q_0) цэгүүдийг тодорхойлох нь хүндрэлтэй учир тооцооллыг хялбарчлахын тулд (z) тэнхлэгийн дагуу шилжилт хийхгүй хэмээн үзэж тооцоолбол хавтгай дээрхи 2 шулууны огтлолцол олох бодлого болно.

V. Туршилт, үр дүн

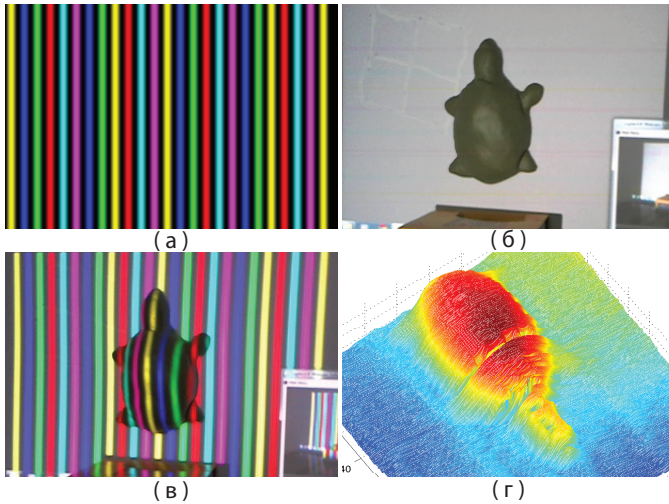
Биетийн 3D загвар сэргээх үе шатуудыг зураг 7-д харуулсан байна. Нэгдүгээр алхам бүтэцлэгдсэн гэрлийн шулуунуудыг II-р бүлэгт тооцоолсоны дагуу үүсгэж проекторын тусламжтай биетрүү гэрэлтүүлсэн. Ингэхдээ 25 өнгийн гэрлийн шулуунуудыг үүсгэж тодорхой хугацааны давтамжтай 10 өөр фазийн шилжилт үүсгэнэ. Ингэснээр бид хэвтээ тэнхлэгийн дагуу 250нэгжийн өргөнтэй 3D мэдээлэл сэргээх боловтой болж байна. Үүнээс гадна биетийн гадаргуугийн өнгөний нөлөөлөл болон орчны гэрэлтэлтийн хэмжээг тодорхойлох үүднээс зураг 7-н б)-д үзүүлсэнтэй ижил 50%-ийн гэрлийн эрчимтэй цагаан буюу саарал өнгийн гэрэлтүүлгэ үүсгэж түүнийг үндсэн суурь өнгө болгон ашигласан. Дараагийн алхам бол IV-A-р бүлэгт тооцоолсон аргаар тухайн зургийн хэвтээ тэнхлэгийн дагуух хөндлөн огтлол тус бүр дээр гэрлийн шулуунуудыг илрүүлсэн. Үүний дараа IV-B-р бүлэгт тодорхойлсон (13), (14) томъёонуудыг ашиглан гэрлийн шулууны тусгал буусан цэгийн байршилыг сэргээсэн. Туршилтын үр дүнд өөр онцлог шинж чанартай 5 төрлийн биетийн 3D загварыг зураг 6-д үзүүлсэн хэмжилтийн талбарт сэргээж анализ хийж үзлээ.



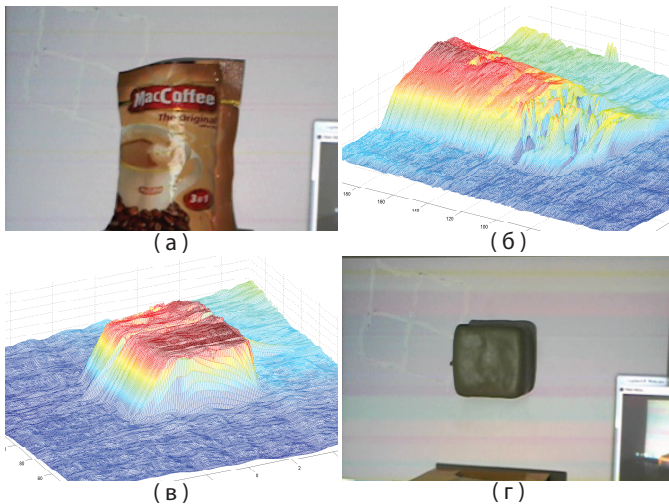
Зураг 6: Туршилтын талбар

Зураг 7-н (в,г), зураг 8-н (а-г)-д үзүүлсэн туршилын үр дүнгээс ажиглавал зарим загварын гол хэсгээр хэвтээ тэнхлэгийн дагуу хоосон утга гарсан нь шулуунууд өөр хоорондоо хурц өнцөг үүсгэн огтлолцохгүй хол зайд явж байгаатай холбоотой, мөн зураг 9-д туршилтын биетийг байршуулсан хананы зайг тооцоолж олохдоо $[-1.5, 0.5]$ завсрын хооронд харилцан адилгүй гарсан байгааг ажиглаж болно. Түүнчлэн туршилт бүр дээр тухайн хананай зайг зүүн доод булангаас буюу баруун дээд булан хүртэл аажим алслагдтай байгаа нь бидний хамарын харах өнцөгийн алслатаас үүдэн гарч буй

нөлөө юм. Эдгээр алдааг арилгахыг тулд бид камер болон проекторын гадаад болон дотоод параметруудийг дахин нарийвчлан үнэлэх шаардлагатай.



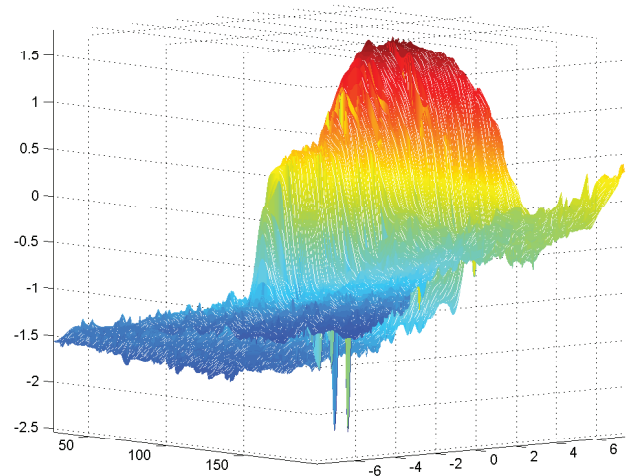
Зураг 7: а) проекторт үүсгэж буй гэрлийн шулуун(зураг) б) 3D хэмжээсээр сэргээх гэж буй биет в) биетийн гадаргуу дээрхи гэрлийн шулуу камерт буусан кадр/биетийн өндөрөөс хамаарч гэрлийн шулуун шилжсэн байна/. г) биетийн 3D загварыг сэргээснийг графикаар харуулав



Зураг 8: а) Олон өнгийн гэрэл ойлгогч гадаргуутай биет(маккоффи) б) 3D загварыг сэргээсэн үр дүнг графикаар в) 3.1x3.1x2.1 см шавар биетийн 3D загвар г) Шавар модель

VI. Дүгнэлт

- 1) Бусад судлаачдын төдийлөн хөндөж гаргадаггүй бүтэцлэгдсэн гэрлийн шинэ загвар(дараалал)-г тодорхой үндэслэлтэй гаргаж түүнийг камерын кадр дээрээс алдаагүй илрүүлэх аргачлал боловсруулсан.
- 2) Проектороос үүсгэсэн гэрлийн шулуун болон биетээс ойсон гэрлийн камер дахь тусгал шулууны



Зураг 9: шавар яст мэлхийн 3D загварыг хажуугаас харуулсан байдал

тусламжтай биетийн 3D загварыг сэргээх аргачлал боловсруулж туршиж үзсэн. Мөн энэ аргыг стерео камер ашиглан биетийн байршил илрүүлэх судалгаанд ашиглаж болно.

- 3) Судалгааны үр дүнд 5 төрлийн биетийн 3D загварыг 250x190 нягтаршилтай сэргээж үүсэж буй алдаан дээр үнэлэлт дүгнэлт гаргасан. Үүнд үндэслэн дараа дараагийн биетийн 3 хэмжээст загвар сэргээх аргачлалыг сайжруулах арга замыг эрэлхийлсэн.

Ном зүй

- [1] Daniel Scharstein, Richard Szeliski, "High Accuracy Stereo Depth Maps Using Structured Light," IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'2003)
- [2] M.Pasherei, S.M.Mousavi, "Implementation of a Low Cost Structured Light Scanner," XXIV International CIPA Symposium, 2-6 September 2013, Strabourg, France.
- [3] C.Rocchini, P.Cignoni, C.Motani, P.Pingi and R.Scopigno, "A Low cost 3D scanner based on structured light," European Workshop on "High Performance Graphics Systems and Applications", Cineca, Bologna, Italy, Oct. 16-17, 2000.
- [4] Chen SY, Li YF and Zhang J, "Vision Processing for Realtime 3-D Data Acquisition Based on Coded Structured Light," IEEE Trans Image Process. 2008 Feb;17(2):167-76.
- [5] Frank Forster, Manfred Lang and Bernd Radig, "Real-Time 3D and Color Camera," European IST program (IST-1999-10087-HISCORE).
- [6] J. Salvi, J. Pags, and J. Batlle, "Pattern codification strategies in structured light systems," Pattern Recognit., vol. 37, no. 4, pp. 827-849, Apr. 2004.
- [7] S. Inokuchi, K. Sato, and F. Matsuda, "Range-imaging system for 3-D object recognition," in Proc. 7th Int. Conf. Pattern Recognition, Montreal, QC, Canada, 1984, pp. 806-808.
- [8] Р.Амартүвшин, Д.Нанзадрагчаа, М.Баярпүрэв, "Камерын загварчлал болон параметруудийг үнэлэх нь," MMT 2013 эрдэм шинжилгээний хурал, Монгол улс, улаанбаатар хот, 2013 оны 4 сар.