

Объектын бодит хугацааны гурван хэмжээст хөдөлгөөний зураглалыг үүсгэх судалгаа

Ц.Тэнгис^{#1}, А.Батмөнх^{#2}, Р.Бямбажав^{#3}, Э.Наранбаатар^{#4}

^{1,2,3}Электроникийн салбар, ⁴Мехатроникийн салбар
^{1,2,3,4}ШУТИС

¹tengis@must.edu.mn, ²abatmunkh@must.edu.mn, ³byambajav_r@yahoo.com, ⁴denaranbaatar@must.edu.mn

Хураангуй — Гурван хэмжээст орон зай буюу огторгуй дахь объектын хөдөлгөөнийг бодит хугацаанд дагах нь бие даасан робот, ухаалаг тээврийн хэрэгсэлийн салбаруудын хувьд чухал ач холбогдолтой даалгаваруудын нэг юм. Уламжлалт аргуудын тоонд радар, лазер гэх мэтийг тоочиж болох бөгөөд тодорхой мэдээлэл олж авах зориулалттай тоног төхөөрөмжийг ашиглан объектын байрлалыг тодорхойлдог байна. Компьютерийн технологийн хөгжлийн өнөөгийн төвшинд дүрс боловсруулалтын аргыг өргөн хэрэглэх болсны нэг нь стерео камерыг ашиглан гурван хэмжээст орон зайд объектын байрлалыг тодорхойлж, түүнийг дагах болон замын зураглалыг үүсгэх боломж юм.

Энэхүү өгүүллээр бид энгийн хос веб камер ашиглан стерео дүрс үүсгэж, түүн дээрх объектыг өнгөний ялгаралын аргын тусламжтайгаар бодит хугацаанд 3D орон зайд даган хэмжилт хийсэн туршилт, ийнхүү хураасан өгөгдлийг ашиглан замын зураглалыг үүсгэсэн загварчилалын зарим үр дүнг танилцуулах болно.

Түлхүүр үг — HSV, стерео дүрс, дүрсний өнгө, камер, пиксель, фокусын зай, Калманы шүүлтүүр

I. УДИРТГАЛ

Объектыг илрүүлж дагах чадвар нь олон хэрэглээнд шаардлагатай юм. Өнөө үед хүнгүй тээврийн хэрэгсэл, бие даасан роботын судалгаа түлхүү хийгдэж байгаа бөгөөд үүний нэг зорилго нь 3D орон зайд бодит хугацаанд объектыг илрүүлэх, дагах чадвар юм. Цэрэг зэвсэглэлд объектыг илрүүлэн дагаж устгах технологиудыг хөгжүүлсээр байна. Спортын хувьд, хөл бөмбөг, сагс, тэннис гэх мэтийн тэмцээнд бөмбөгний байрлалыг тодорхойлж тэмцээний маргааныг таслан зогсоох чиглэлээр ч мөн технологиудыг хөгжүүлсээр байна [1].

Хос камер ашиглан стерео дүрс үүсгэх замаар объект хоорондын зайг тооцоолох, объектын хэмжээг тодорхойлох судалгааны ажлуудын үндсэн зорилго нь 3 хэмжээст орон зайн мэдээллийг хурдан, алдаа багатай боловсруулахад оршиж байна [2, 3, 4, 5]. Стерео дүрс боловсруулахад дараахи хүндрэлүүд үүсдэг. Үүнд, 2 камер хэрэглэн өөр өөр өнцгөөс зураг авдаг тул нэг камерт харагдах объект нөгөө камерт үл харагдах, зургийн хос цэгүүдийн хоорондын хамаарал үүсэхгүй байх, орчны гэрэлтэлтээс хамааран хос зураг тус бүр дээрх дүрсний гэрэлтэлт харилцан өөр байх зэрэг олон асуудлууд гарна. Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд энгийн хос веб камер

хэрэглэн стерео дүрсийг үүсгэж, стерео дүрс дээрх объектыг өнгөний ялгаралаар таньж дагах системийн туршилтыг хийлээ.

Гурван хэмжээст орон зайд оршин байгаа дурын цэгийн байрлалыг X, Y, Z координатаар илэрхийлдэг боловч зурган дүрс (image) нь 2 хэмжээст хавтгай дээр л x, y координатаар илэрхийлэгдэнэ. Ийнхүү проекцийн нэг хэмжээс алдагдана. Компьютерийн хараа (Computer Vision)-ны нэг гол зорилго нь дээрх алдагдсан хэмжээсийг сэргээх явдал юм. Хоёр хэмжээст дүрслэлээс 3 дахь хэмжээсийн мэдээллийг гарган авахын тулд стерео (stereo), хөдөлгөөн (motion), сүүдэр (shading), бүтэц (texture) гэм мэт аргуудыг хэрэглэдэг [10, 11]. Үүний тулд бид камерын загвартай танилцах шаардлагатай.

Дээрх хэсгийг өмнөх өгүүлэл болох “Стерео дүрсний мэдээллийг шулуутган засварлах аргын судалгаа”-нд авч үзсэн [12, 13].

II. ӨНГӨНИЙ ШИНЖ ЧАНАРААР ХӨДӨЛЖ БУЙ ОБЪЕКТЫГ ИЛРҮҮЛЭХ

Энэхүү өгүүллэд санал болгож буй аргын гол санаа нь өнгөний шинж чанарыг ашиглан хөдөлж буй объектыг илрүүлэх, бодит хугацаанд даган мөрдөх болон хөдөлгөөний 3D зураглалыг үүсгэхэд оршино.

Объектыг дагахад үүсдэг 5 асуудлыг авч үзье. Үүнд :

1. Камерын тохиргоо (Camera Calibration) – камерын загварыг тодорхойлох
2. Дүрсний шулуутган засварлалт (Image Rectification) – еиполар геометрийн тооцоолол, линзний гажилтын засварлах
3. Онцлог шинж чанарыг тодорхойлох (Feature Extraction) – даган мөрдөх гэж буй объектыг тодорхойлох
4. Хамаарал (Correspondence) – дагаж буй объектын дүрслэлүүд тохирч буйг хэмжих
5. Гурвалжны арга (3D Triangulation) – Дагаж буй объектын 3D координатыг тооцоолох зэрэг юм.

A. Стерео дүрсний систем

Стерео дүрсний системийг үүсгэхийн тулд бэлтгэлийн үе шатыг гүйцэтгэнэ. Энэ шатанд бид камерын загварыг тодорхойлж, камерын матрицыг тооцоолсноор фокусын зай, линзний гажилтын коэффициентууд, үндсэн төв, эргэлтийн өнцөг, камер хоорондын зай зэргийг тодорхойлно.

Стерео камерын тохируулгыг хийхдээ дараах 2 матрицыг тооцоолох шаардлагатай. Үүнд:

1. Чухал матриц (essential matrix) нь 3D хэмжээст орон зай дахь хоёр камерын хоорондын шилжилт болон эргэлтийн мэдээллийг агуулах ба (1), (2)-оор тооцоолно.

$$P_r^T E P_l = 0 \quad (1)$$

$$E = RS \quad (2)$$

Энд P_l, P_r , епиполар хавтгай дээр байрлах P цэгийн координат, S нь вектор үржвэр, R нь эргэлт, E нь чухал матриц юм.

2. Суурь матриц (fundamental matrix) нь чухал матрицын адил мэдээллийг агуулахаас гадна нэмэлт камерын дотоод параметруудийг агуулах ба (3), (4)-өөр тооцоолно.

$$x_r^T (M_r^{-T} E M_l^{-1}) x_l = 0 \quad (3)$$

$$x_r^T F x_l = 0 \quad (4)$$

Энд x_l, x_r , зургийн хавтгай дээр байрлах P цэгийн координат, M_r, M_l нь камерын матриц, F нь суурь матриц тус тус байна.

Суурь матрицыг тооцоолсноор линзний гажилтын мэдээллийг гарган авна. Онолын хувьд гажилтгүй линз байж болох ч практикт төгс линз байдаггүй. Гол шалтгаан нь үйлдвэрлэлийн технологид байдаг бөгөөд дүрслэлийн хавтгай дээр механикаар линзийг яг тохируулах нилээд хүнд ажиллагаа байдаг. Линзэд хэд хэдэн үндсэн гажилтууд байна [7]. Нарийн хэмжилт хийхийн тулд ойрын зайн камерын тохируулга хийж линзний гажилтыг нарийн тооцоолсон байх шаардлагатай [8, 9]. Линзний гажилт гэдэгт цацрагт (radial distortion), төв бус буюу голлоогүй (tangential or decentering) зэрэг гажилтууд багтана.

Цацрагт гажилт нь линзний хэлбэрээс хамааран үүсдэг байна. Бодит камерын линзүүд нь дүрслэл дэх ирмэгийн цэгүүдийг гажилтанд оруулдаг.

Бидний судалгааны ажлын хүрээнд эхлээд энгийн веб камер хэрэглэсэн бөгөөд уг камерын хувьд энэ төрлийн гажилт үүсэх бүрэн боломжтой юм. Цацрагийн гажилт нь оптик төвдөө 0 гажилттай байдаг бол төвөөсөө холдох тутам гажилт нь ихэсдэг. Илэрхийлэл (5), (6), (7)-оор гажилтыг тооцоолох илэрхийллийг харуулав.

$$x_d = x_u (1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) \quad (5)$$

$$y_d = y_u (1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) \quad (6)$$

$$r = \sqrt{(x_u - x_c)^2 + (y_u - y_c)^2} \quad (7)$$

Энд, (x_d, y_d) - засварласан цэг, (x_u, y_u) - гажилт үүссэн цэг, (x_c, y_c) - гажилтын төв (гол төв – principal point), K_n – цацрагт гажилтын коэффициент, r – пикселийн радиус

Хоёр дахь гол гажилтыг төв бус (tangential or decentering) буюу голлоогүй гажилт гэх ба энэ гажилт нь үйлдвэрлэх явцад үүсдэг. Линзийг дүрслэлийн хавтгайтай яг параллель байрлуулаагүйн улмаас энэ гажилт үүсдэг байна. (8), (9), (10)-аар гажилтыг тооцоолох илэрхийллийг харуулав.

$$x_d = x_u + [2p_1 y + p_2 (r^2 + 2x^2)] \quad (8)$$

$$y_d = y_u + [p_1 (r^2 + 2y^2) + 2p_2 x] \quad (9)$$

$$r = \sqrt{(x_u - x_c)^2 + (y_u - y_c)^2} \quad (10)$$

Үүнд p_1, p_2 нь төв бус гажилтын коэффициент.

Дээрхээс, нийт 5 төрлийн гажилтын коэффициентийг тодорхойлох шаардлага гарч байна. Өөр олон төрлийн линзний гажилтууд байдаг ч дээрх 2 гажилттай харьцуулахад бага нөлөө үзүүлдэг байна [7].

Бид энгийн веб камер ашиглан стерео зургийг үүсгэсэн ба үүнд хэвтээ болон босоо тэнхлэгийн алдаа үүсч байлаа. Дээрх тэнхлэгийн алдаануудыг шулуутган засварлах аргыг хэрэглэн стерео хос дүрсний мэдээллийг сайжруулах шаардлага гардаг. Үүний тулд камер тус бүрийн матрицыг тооцоолно. Энд епиполар геометрийн ойлголт гарч ирэх ба энэ нь стерео дүрс боловсруулалтын үндсэн байгууламжийн нэг юм [5]. Шулуутган засварлах арга нь олон дүрсийг нэгэн гадаргууд хувирган буулгах процесс юм. Энэ аргын онцлог нь 2D дүрсний мэдээллийг 1D хэмжээст буулгах замаар хэвтээ тэнхлэгийн дагуу хамаарлын цэгийг хайхад оршино. Шулуутган засварлах аргыг хэрэглэн епиполар шулуунуудыг байгуулах замаар хоёр хэмжээст зургийн хавтгай дээрээс харилцан хамааралтай цэгийг хайх биш харин тухайн епиполар шулуун дээр буюу нэг хэмжээст орон зайд байрлах хамааралтай хос цэгийг хайх ажиллагааг хийнэ. Ингэснээр зургийн боловсруулалт сайжирч боловсруулах хурд ч нэмэгдэх юм [5, 6].

В. Объектыг илрүүлэх

Компьютерийн хараа (computer vision)-ны судалгааны нэг чиглэл нь бодит хугацаанд хөдөлгөөнт объектыг дагах асуудал байдаг. Объектыг таньж даган мөрдөх олон арга байдлын дотор бодит хугацааны систем, роботын харааны системд объектын өнгөнд тулгуурлан дагах аргыг өргөн хэрэглэдэг [14, 15, 16]. Бусад танилтын аргаас өнгө таних арга нь зарим давуу талтай байдаг. Тухайлбал, боловсруулалтын хурд өндөр, ашиглахад энгийн, объектын геометр өөрчлөлт, эргэлт, зургийн хэмжээсийн өөрчлөлт, саад зэрэг тохиолдлоос бага хамааралтай байдаг тул объектын таних боломж харьцангуй өндөр байдаг.

Гэвч гэрэлтүүлгийн өөрчлөлт, сүүдэр, хурц гэрэл, тусгал болон камерын характеристикээс хамаарч объектын танилтанд хүндрэл үүсэх тохиолдол бий.

Компьютерт дүрсийг тоон хэлбэрээр харахдаа өнгөний олон тооны загварууд хэрэглэдэг. Жишээ нь RGB, HSV, Gray, HIS гэх мэт. Компьютерт өнгөт пикселийг Улаан, Ногоон, Хөх (RGB) гэх тус бүр 8 битийн утгаар дүрсэлдэг. Харин компьютерийн харааны өнгө танилтанд HSV загварыг түлхүү хэрэглэдэг. HSV загварын хувьд өнгийг өнгө (Hue), ханалт (Saturation), гэрэлтэц (Value) гэсэн утгуудаар илэрхийлнэ. RGB загварт аливаа өнгө 3 өнгөний нийлмэл байдаг бол HSV загварт, жишээ нь, улаан өнгийг улаан өнгөний ханалт, улаан өнгөний гэрэлтэцээр нь задалдаг тул HSV загварыг өнгө танилтанд түлхүү хэрэглэдэг байна. Дээрх үзүүлэлтүүдийг нэрлэхдээ H – өнгийг илэрхийлэх ба 360 градусаар, S – ханалтыг илэрхийлэх ба тухайн өнгөнд хэр их цагаан өнгө шингэсэн байгааг 0-100% -аар, V – гэрэлтэцийг илэрхийлэх ба 0-100% -аар тус тус тодорхойлно.

а. RGB загварыг HSV загварт хөрвүүлэх нь:

$$M = \max\{R, G, B\}$$

$$m = \min\{R, G, B\}$$

$$V = M/255 \tag{11}$$

$$S = 1 - m/M \tag{12}$$

Хэрэв $G \geq B$ бол

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{R-0.5G-0.5B}{\sqrt{R^2+G^2+B^2-RG-RB-GB}} \right] \tag{13}$$

Хэрэв $G < B$ бол

$$H = 360 - \cos^{-1} \left[\frac{R-0.5G-0.5B}{\sqrt{R^2+G^2+B^2-RG-RB-GB}} \right] \tag{14}$$

Объектыг өнгөөр ялган сегментчилсний дараа босго (threshold), идэх (erode), тэлэх (dilate) аргаар шүүж объектын танилтыг сайжруулна.

б. Босго тавих нь:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{хэрэв } f(x, y) \geq T \\ 0 & \end{cases}$$

с. Идэлт хийх нь:

Идэх функцийг гол зорилго нь объектын хилээс хол байрлах цэгүүдийг устгахад орших юм.

$$E = I \ominus S \tag{15}$$

$$E(x) = \begin{cases} 1 & \text{хэрэв } S \text{ нь } I - \text{ийн } x \text{ тэй таарах} \\ 0 & \end{cases}$$

д. Тэлэлт хийх нь:

Тэлэх функцийг гол зорилго нь объектын хил дээрх цэгүүдийг нөхөхөд оршино.

$$D = I \oplus S \tag{16}$$

$$E(x) = \begin{cases} 1 & \text{хэрэв } S \text{ нь } I - \text{ийн } x \text{ тэй таарах} \\ 0 & \end{cases}$$

Дээрх шүүлтийн аргыг хэрэглэснээр объектыг бусад өнгөнөөс салгана мөн объектоос хол үүссэн төсөөтэй цэгүүдийг идүүлж устгана. Үүний дараа таних объектын зарим хэсгүүдийг тэлэх аргаар сэргээж болно. Дүрсний гадаргуу дээр нэгэн төрлийн цэгээс бүрдсэн объект илрэн гарч ирэх ба объектын төвийг бид тодорхойлж байрлалыг олно.

С. Хамаарлыг тодорхойлох

Хамаарлыг тооцоолох нь ялгаатай өнцгөөс авсан 2 зураг дээрээс тухайн цэгийг олох явдал юм. Зүүн талын зураг дээрх цэг баруун талын зураг дээр хаана байрлаж байгааг тодорхойлдог ба тухайн цэг камераас холдох тутам ялгаа багасч байхад цэг ойртох бүрт ялгаа нь ихэсдэг. Хамааралтай цэгийг тодорхойлох олон аргууд байдаг [1] ба бид блок давхцуулах (Block matching) аргыг ашигласан болно. Блок давхцуулах арга нь (17), (18), (19) илэрхийллүүдийг ашигладаг. Үүнд:

Үнэмлэхүй ялгаварын нийлбэр (Sum of absolute differences - SAD)

$$C(x, y, d) = \sum_{x \in S} |I_R(x, y) - I_L(x + d, y)| \tag{17}$$

Ялгаварын квадрат нийлбэр (Sum of Squared differences - SSD)

$$C(x, y, d) = \sum_{x \in S} (I_R(x, y) - I_L(x + d, y))^2 \tag{18}$$

Ялгаварын минимумын нийлбэр (Sum of truncated absolute differences - STAD)

$$C(x, y, d) = \sum_{x \in S} \min\{|I_R(x, y) - I_L(x + d, y)|, T\} \tag{19}$$

III. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

Бид хоёр веб камер ашиглан тусгайлан байрлуулах замаар стерео веб камерыг үүсгэсэн ба түүний тусламжтайгаар хос зургийг үүсгэж харгалзах тохируулгыг хийв. Үүний үр дүнд камер тус бүрийн дотоод параметрууд M1, M2 матриц, линзний гажилтын параметрууд D1, D2 матриц мөн 2 камерын хоорондын хамаарал болох эргэлтийн матриц R, шилжилтийн матриц T тус бүрийг тооцоолсон үр дүнг доор харуулав.

$$M1 = \begin{bmatrix} 1031.186 & 0 & 278.083 \\ 0 & 1031.186 & 210.942 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M2 = \begin{bmatrix} 1031.186 & 0 & 296.788 \\ 0 & 1031.186 & 202.531 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D1 = [-0.09.382 \ 2.631 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 14.956]$$

$$D2 = [-0.09.447 \ 0.349 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -6.884]$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.999 & 0.005 & 0.039 \\ -0.005 & 0.999 & 0.003 \\ -0.039 & -0.003 & 0.999 \end{bmatrix}$$

$$T = [-6.776 \ -0.031 \ -0.402]^T$$

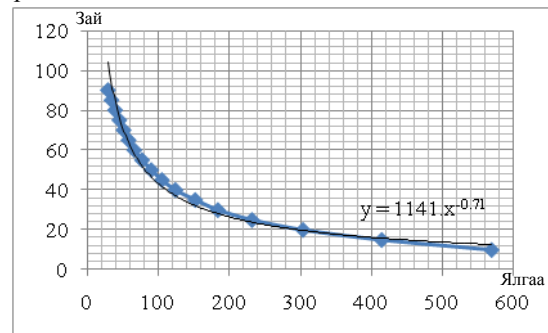
Стерео камерын гадаад, дотоод параметруудийг тодорхойлсноор зургийг шулуутган засварлах боломжтой болсон ба үүний үр дүнд хамааралтай цэгүүдийг 2D хэмжээст орон зайд хайх биш харин 1D хэмжээст орон зайд хайхаас гадна хазайлтын алдаануудыг засварлав.

Хамааралтай цэгүүдийг олсны дараа объектыг камераас алхам алхмаар холдуулах замаар ялгаа болон зайн хамаарлыг гарган авлаа.

Хүснэгт 1. ЯЛГАА БА ЗАЙН ХАМААРАЛ

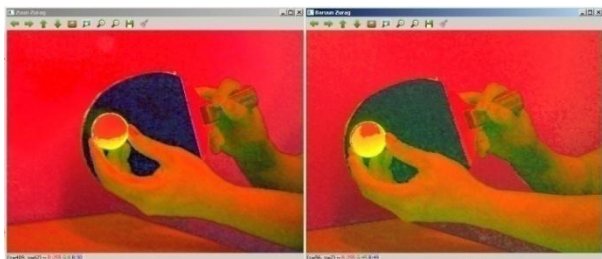
Disparity(px)	570	415	304	232	184	152	124
Distance(mm)	10	15	20	25	30	35	40

Ялгаа ба зайн хамаарлын графикийг Зураг 1-д үзүүлэв. Зургаас, цэг камераас холдох тутам ялгаа багасч байхад цэг камерт ойртох бүрт ялгаа нь ихэсэж байгаа нь харагдана.

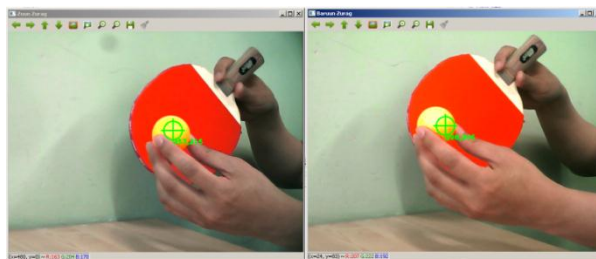


Зураг 1 . Ялгаа ба зайн хамаарлын график

Бэлтгэлийн үе шат хийгдсэний дараа бид объектыг илрүүлэн таних үе шатыг хэрэгжүүлэв. Энд юуны өмнө камераас орж ирж буй RGB өнгөний зургийг HSV форматад томъёо (11-14) хөрвүүлнэ (Зураг 2).



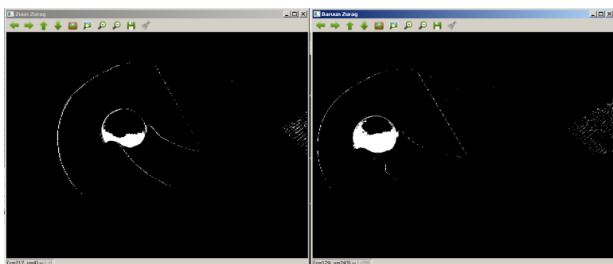
Зураг 2 . HSV зураглал



Зураг 5. Объектын байрлалыг тодорхойлох

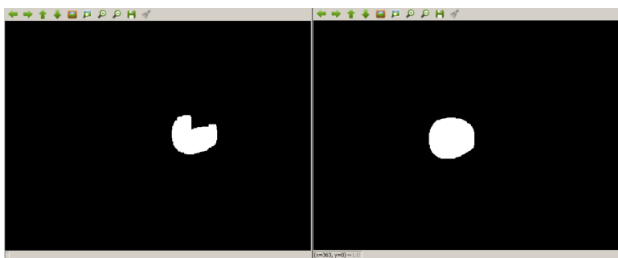
Туршилт хийхдээ бөмбөгийг камераас спирал хэлбэрээр эргэлдүүлэн холдуулах замаар хөдөлгөж, туулсан замын өгөгдлийг файлд хадгалж, мөн 3D муруйгаар Зураг 6-д байгуулж харуулав.

Улбар шар өнгөтэй тэннисийн бөмбөгийг танин дагах объект болгон бид туршилтанд сонгон хэрэглэв. Өнгөний босго тавих замаар бөмбөгийг бусад объектуудаас салгаж авсан (Зураг 3).



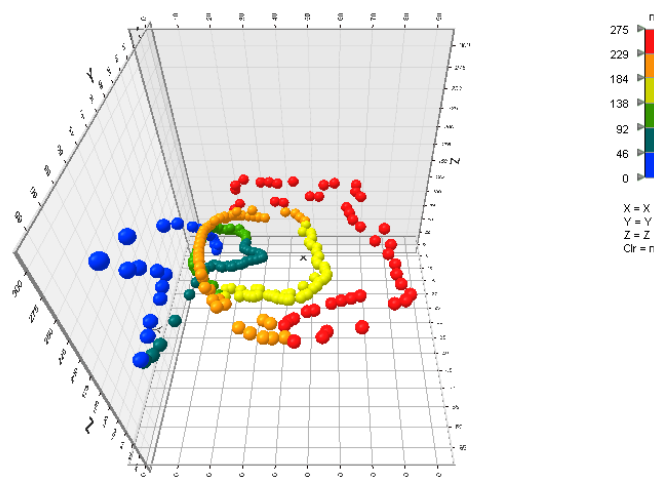
Зураг 3 . Өнгөний босго хийсэн үр дүн

Дээрх зургаас харахад төстэй өнгө болон гэрэлтцээс хамаарсан хортой цэгүүд үүсч байгааг харж болно. Идүүлэх аргыг хэрэглэн объектоос хол байрлах цэгүүдийг шүүж устгасан. Идүүлэх үед бөмбөгний хэлбэр зарим хэсгээрээ устаж байсан ба тэлэх аргыг хэрэглэн томъёо (15-16) хэрэглэн сэргээлт хийснийг Зураг 4 –г үзүүлэв.



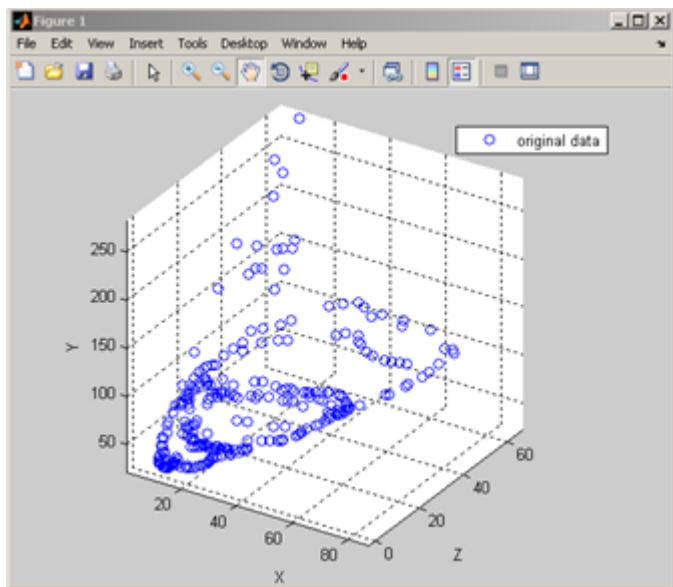
Зураг 4. Идүүлэх болон тэлэх аргын үр дүн

Нэгэн төрлийн цэгүүдээс бүрдсэн бөмбөгийн төвийг тооцолж түүнийг дагах боломжтой болж байгааг Зураг-5 аас харж болно.

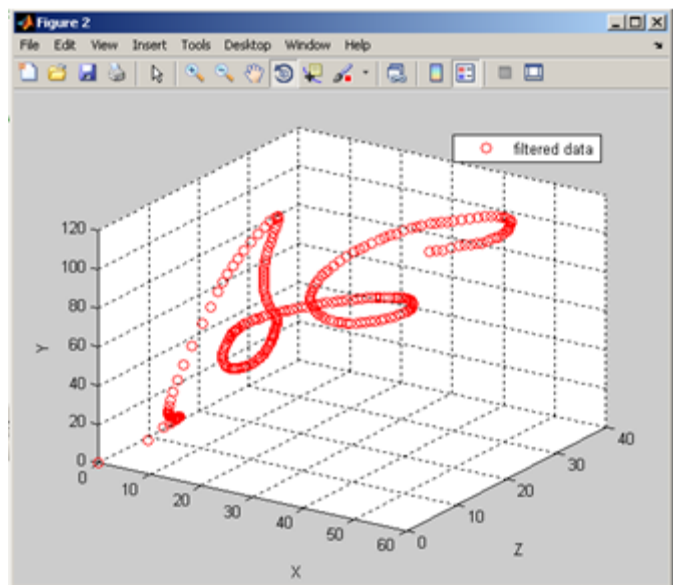


Зураг 6. Хөдөлгөөний зураглал

Зураг 6 –д үзүүлсэн гурван хэмжээсийн хөдөлгөөний график дүрслэлээс харахад, өгөгдлийн тоон утга нь нилээд тогтворгүй, шуугиантай болох нь тодорхой байлаа. Иймд Калманы шүүлтүүрийг МАТЛАБ орчинд програмчилах замаар дээрх өгөгдлийн файлаас шуугиантай утгуудыг авч шүүсэн эцсийн үр дүнг Зураг 7-д харуулав. Энд, Зураг 7а нь шүүгээгүй хөдөлгөөний замын муруй, Зураг 7б- нь шүүсэн замын муруйг тус тус харуулж байна.



а.



б.

Зураг7. Калман шүүлтүүрийн үр дүн

IV. ДҮГНЭЛТ

Санал болгож буй өнгөний ялгарал дээр суурилсан бодит хугацаанд объектыг 3D орон зайд илрүүлэн дагах аргыг танилцууллаа. Энэ аргыг ашиглан онцгой ялгарах өнгөтэй объектыг геометрийн өөрчлөлт, эргэлт, хэмжээсийн өөрчлөлт, бага хэмжээний саад зэргээс үл хамааран бодит хугацаанд даган мөрдөх боломжтой юм. Гэвч гэрэлтүүлгийн өөрчлөлтөөс хамааран объектын танилганд хаяа хүндрэл үүсч байсныг хэлэх нь зүйтэй.

3D орон зайд объектыг танин дагаж мөрдөхийн тулд хос веб камер ашиглан стерео дүрсийг үүсгэсэн. Стерео камерын тохируулгыг хийх замаар камерын дотоод болон

гадаад параметруудийг тооцоолж өнцгийн алдаа, гажилтуудыг засварласан. Стерео дүрс боловсруулалтын шулуутган засварлах аргыг хэрэглэн стерео хос дүрс дээр геометр хувиргалт хийж хамааралтай цэгүүдийг тодорхойлсон. Дээрх алхмуудыг хийснээр объект болон камер хоорондын зайг нарийн зөв тодорхойлж чадсан.

Калманы шүүлтүүрийг хэрэглэн хөдөлгөөний зураглалыг илүү нарийн тодорхойлж байна.

Цаашид объектын дан ганц өнгөнд тулгуурлах биш мөн хэлбэрээс хамааруулан хослуулан таних замаар гэрэлтэцийн өөрчлөлтөөс үүсэх алдааг багасгах боломжтой юм. Кадр бүрээс ирэх координатын өөрчлөлтийг тооцоолсноор объектын шилжилтын хурд, хурдатгалыг тооцоолох боломжтой байна. Мөн хэд хэдэн кадрын өгөгдөл дээр тулгуурлан объектын шилжилтийг урьдчилан тооцоолж болохоор байна. Цаашид нэг биш олон объектуудыг бодит хугацаанд 3D орон зайд дагах боломжтой юм.

Ном зүй

- [1] Manaf A. Mahammed, Amara I. Melhim, Faris A. Kochery "Object Distance Measurement by Stereo Vision" *International Journal of Science and Applied Information Technology (IJSAIT)*, Vol.2 , No.2, Pages : 05-08 (2013) Special Issue of ICCTE 2013 - Held during 11-12 March, 2013 in Hotel Crowne Plaza, Dubai
- [2] N.Sebe, Ira Cohen, Ashutosh Garg and Thomas S.Huang, *Machine Learning in computer vision*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, volume 1
- [3] A.Fusiello, E.Trucco, and A. Verri. "A compact algorithm for rectification of stereo pairs". *Machine Vision and Applications*, 2000.
- [4] R.I. Hartley. "Theory and practice of projective rectification". *International Journal of Computer Vision*, 35(2):1-16, November 1999
- [5] F. Isgro and E. Trucco. "Projective rectification without epipolar geometry". *Computer Vision and Pattern Recognition*, 1999. IEEE Computer Society Conference
- [6] Huihuang Su, "Stereo rectification of calibrated image pairs based on geometric transformation". *IJMCS*, vol.3, no.4, pp.17-24, 2011
- [7] Vijayalakshmi B, "Real Time Rectification of Stereo Images". *Journal of Information Sciences and Computing*, Vol. 1, No. 1, December 2007
- [8] Changuig Sun, "Uncalibrated three view image rectification". *Image and Vision Computing*, vol. 21, pp. 259-269, 2003. 2
- [9] C.Loop, Computing Rectifying Homographies for stereo vision. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol.1, pages 125-131, June 23-25, 1999. Fort Collins, Colorado, USA
- [10] X. Armangué Quintana. "Modelling Stereoscopic Vision Systems for Robotic Applications". *Universitat de Girona*, 2003.
- [11] GaryBradski& Adrian Kaehler. *Computer Vision with OpenCV*ebookISBN: 978-1-4493-3193-1| ISBN 10:1-4493-3193-9
- [12] Ц.Тэнгис, А. Батмөнх. Дүрсний хүрээ илэрүүлэлтийг MATLAB болон LABVIEW орчинд харьцуулах нь. Монголын Мэдээллийн Технологи 2013. Эрдэм шинжилгээний хурлын эмхэтгэл. х. 77-81.
- [13] Ц.Тэнгис, А. Батмөнх, Р. Бямбажав. Стерео дүрсний мэдээллийг шулуутган засварлах аргын судалгаа. Монголын Мэдээллийн Технологи 2014. Эрдэм шинжилгээний хурлын эмхэтгэл. х. 88-91.
- [14] Sara Mitri, Simone Frintrop, *Robust Object Detection at Regions of Interest with an Application in Ball Recognition*, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation
- [15] D. Šykora1,†, D. Sedláček1, and K. Riege2, Real-time Color Ball Tracking for Augmented Reality, *EGVE Symposium* (2008)
- [16] Francesc Moreno, Adrià Tarrida, Juan Andrade-Cetto and Alberto Sanfeliu, "3D Real-Time Head Tracking Fusing Color Histograms and Stereovision"