

# Гурван Хэмжээст Нийлмэл Дүрсэн Дэлгэцийн Элементар Дүрсийг Хурдан Үүсгэх Арга

О. Уянга, П. Болд, Б. Ганбат

Монгол Улсын Их Сургууль, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль  
Электроник Холбооны Тэнхим  
Улаанбаатар хот, Монгол улс  
ganbatb@gmail.com

*Хураангуй*— Гурван хэмжээст (3Х) компьютер график хурдтай хөгжсөн өнөө үед 3Х моделиос 2 хэмжээст зураг үүсгэх буюу Rendering хийхэд хугацаа их зарцуулдаг. Энэ судалгааны ажлын зорилго нь 3Х дэлгэцийн нэг төрөл болох Нийлмэл дүрсэн дэлгэцэд зориулсан элементар зургуудыг үүсгэх хурдан арга боловруулах юм. Элементар зургийн хавтгайгаас 3Х моделийн цэг гэсэн чиглэлээр бодуулсан бөгөөд тухайн элементар цэг ямар линзээр дүрслэгдэхийг шалгахгүйгээр боддог. Бодолтын үр дүнгээс харахад уламжлалт аргаар үүсгэснээс шинэ арга нь 60 дахин бага хугацаанд элементар зураг үүсгэж байна.

*Түлхүүр үг*— компьютер график; гурван хэмжээст дэлгэц; нийлмэл дүрсэн дэлгэц; гурван хэмжээст дүрс боловсруулалт.

## I. УДИРТГАЛ

Гурван хэмжээст модель болон хөдөлгөөнт зураг хийдэг програмууд хүчтэй хөгжсөн боловч 3Х моделиудын 2 хэмжээст зураг үүсгэх буюу Rendering хийх шаардлагатай байдаг. Учир нь бид нарын хэрэглэж байгаа бүх дэлгэц 2 хэмжээст дэлгэц юм. Хэдийгээр Стерео[1, 2], Авто стерео[3], Лентикүляр, Нийлмэл дүрсэн дэлгэц[5-8] гэх мэт дэлгэцүүд бий боловч эдгээр нь 2 хэмжээст зураг дээр суурилан ажилладаг. Стерео дэлгэц нь хүний баруун зүүн нүдэнд зориулсан 2 хэмжээст 2 зургийг үзүүлдэг бөгөөд хэрэглэгч тусгай зориулалтын шил зүүж хардаг. Энэ технологи нь зөвхөн хэвтээ тэнхлэгийн дагуу 3Х зургийг үзүүлдэг. Авто стерео дэлгэцүүд нь нүдний шилгүйгээр 3Х зургийг харах боломжтой. Жишээ Авто стерео нэг төрөл болох Лентикүляр технологи нь баруун зүүн нүдэнд зориулсан стерео зургуудыг босоо цилиндр линзийн тусламжтайгаар үзүүлдэг. Баруун зүүн нүдний зураг ашигладаг болохоор хэвтээ тэнхлэгийн дагуу 3Х харах боломжтой. Гурван хэмжээст дэлгэцийн технологи дундаас нийлмэл дүрсэн технологи дараах давуу талуудтай. Үүнд: Хэвтээ болон босоо тэнхлэгийн дагуу 3Х харах боломжтой,

Шинжлэх ухаан технологийн сан хэрэглэгчийн байрлалаас хамаарахгүй, тусгай зориулалтын нэмэлт шил шаардлагагүй. Нийлмэл дүрсэн дэлгэц нь 2 хэмжээст элементар зургуудыг олон линзээр цуглуулж 3Х зураг

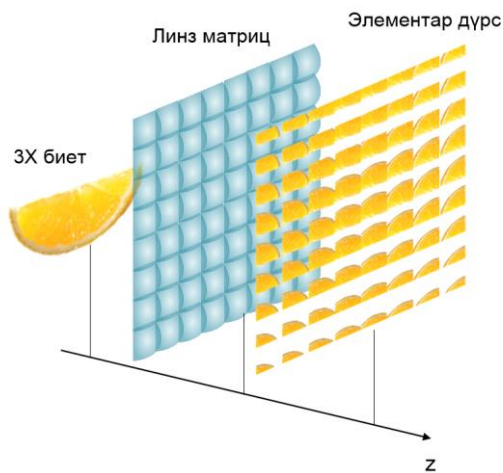
үүсгэдэг. Эдгээр 3Х дэлгэцүүд бүгд 2 хэмжээст зургийг 3Х зураг болгож харуулж байна. Тиймээс 3Х моделиос 2 хэмжээст зургийг богино хугацаанд үүсгэх нь судлаачдын анхаарлыг ихээр татаж байна.

Элементар дүрсийг оптик систем ашиглаж болон загварчлал ашиглан тооцоолон үүсгэдэг бөгөөд энэ өгүүлэлд тооцооллын аргыг ашиглаж хэрхэн хурдан элементар дүрс үүсгэх шинэ аргыг танилцуулах болно. Уламжлалт аргаар 3Х биетээс Элементар дүрс үүсгэхдээ 3Х биетийн цэгээс Элементар дүрсийн хавтгай уруу боддог бөгөөд ингэхдээ тухайн 3Х хэмжээст цэг ямар линзүүдээр дүрслэгдэхийг нь шалгадаг. 3Х биетийн цэг болгоныг үүсгэх болон линз болгоныг шалгасан давхар цикл үүсдэгээс хэтэрхий удаан боддог [6]. Т. Наемуга-ын цэг болгоноор биш жижиг матрицаар буулгалт хийж үүсгэх арга санал болгосон [9]. Энэ арга нь цэг болгоноор боддоггүй давуу талтай ч линз бүрийг шалгадаг дутагдалтай.

Энэ өгүүлэл нь 2-р бүлэгтээ нийлмэл дүрсэн технологийн талаар, 3-р бүлэгтээ линзээр дүрс үүсгэх талаар, 4-р бүлэгтээ Элементар дүрсийг хэрхэн үүсгэх талаар, 5-р бүлэгтээ шинэ аргын талаар, 6-р бүлэгтээ үрд дүнгийн талаар танилцуулна.

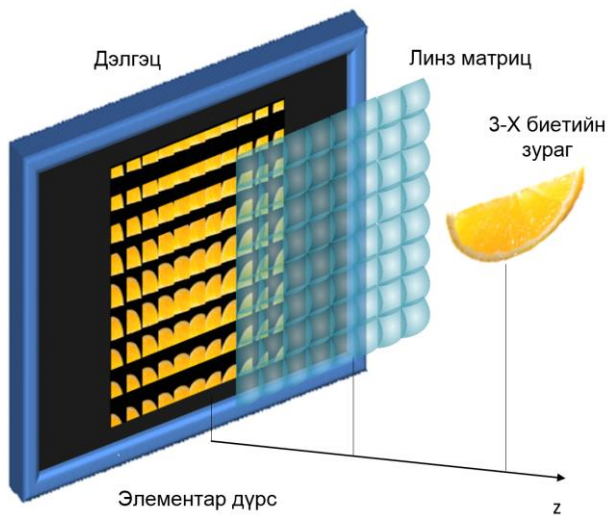
## II. НИЙЛМЭЛ ДҮРСЭН АРГА

Нийлмэл дүрсэн арга нь Элементар дүрс үүсгэх болон Элементар дүрсийг үзүүлэх гэсэн хэсгээс бүрдэнэ. Гурван хэмжээст биетээс Элементар дүрс үүсгэхдээ линз матриц ашиглаж үүсгэдгийг Зураг 1-т үзүүлэв. Нэг жижиг линзийг Элементар линз гэх бөгөөд линз болгон 3Х биетийн хэсгийн зургийг нэг хавтгай дээр үүсгэх бөгөөд уг хавтгайг Элементар дүрсийн хавтгай гэнэ. Элементар дүрсийн хавтгай дээр үүсэн зургийг элементар дүрс гэж нэрлэдэг бөгөөд Зураг 1-т үзүүлэв.



Зураг 1. 3X биетээс элементар дүрс үүсгэх.

Нийлмэл дүрсэн дэлгэц нь 2 хэмжээст дэлгэц болон линз матрицаас бүрдэн. Үүнийг Зураг 2-т үзүүлэв. Хоёр хэмжээст дэлгэц Элементар дүрсийг үзүүлэх бөгөөд уг дүрсийг линз матриц цуглуулан 3X биетийн зургийг үүсгэнэ. Ингэж олон жижиг зургуудыг нэгтгэж 3X зураг үүсгэдэг болохоор нийлмэл дүрсэн дэлгэц гэж нэрлэдэг.



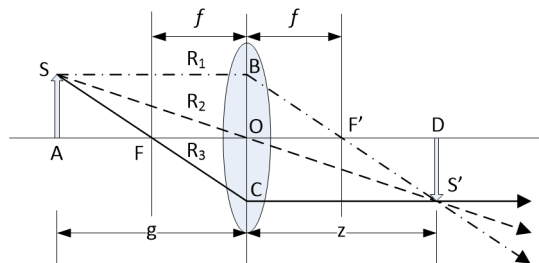
Зураг 2. Нийлмэл дүрсэн дэлгэцийн бүтэц

Нийлмэл дүрсэн арга нь зураг үүсгэх болон үзүүлэхдээ линз ашигладаг учраас хурдан бодуулахдаа линзийг хялбаршуулах хэрэгтэй болдог.

### III. Линз

Нийлмэл дүрсэн арга нь гүдгэр цуглуулагч линзийг ашигладаг. Линзийн гол тэнхлэгтэй параллель цацрагууд линзээр нэвтрээд нэг цэгт цуглах бөгөөд энэ цэгийг фокусын цэг нэрлэнэ. Линзээс фокусын цэг хүртэлх зайг фокусын урт гэх бөгөөд хоёр фокусын цэгтэй (F, F') байна. Үүнийг Зураг 3-т үзүүлэв. Биетээс ойсон цацрагууд линзээр нэвтрээд нэг цэг дээр огтлолцох бөгөөд энэ цэгийг биетийн

дүрс гэнэ. Биетийн дүрс хаана үүсэхийг олохдоо 3 цацрагийг авч үздэг. 1-р цацраг, линзийн оптик тэнхлэгтэй параллель цацраг  $R_1$  линзээр нэвтрээд фокусын цэгийг (F') дайраач тархана. 2-р цацраг, линзийн төвийг дайрсан цацраг  $R_2$  линзээр нэвтрээд чиглэлээ өөрчлөхгүй тархана. 3-р цацраг, фокусын цэгийг дайрсан цацраг  $R_3$  линзээр нэвтрээд оптик тэнхлэгтэй параллелиар тархан. Эдгээрийг Зураг 3-т үзүүлэв.



Зураг 3. Линзээр дүрс байгуулах

Зураг 3, S гэрэл үүсгэгч линзээс g зайд байсан гэвэл үндсэн 3 цацрагийн огтлолцол дээр S' цэг дээр бодит дүрс үүснэ. S' дүрсийн өндрийг зөвхөн 2-р цацрагийг ашиглаж олбол

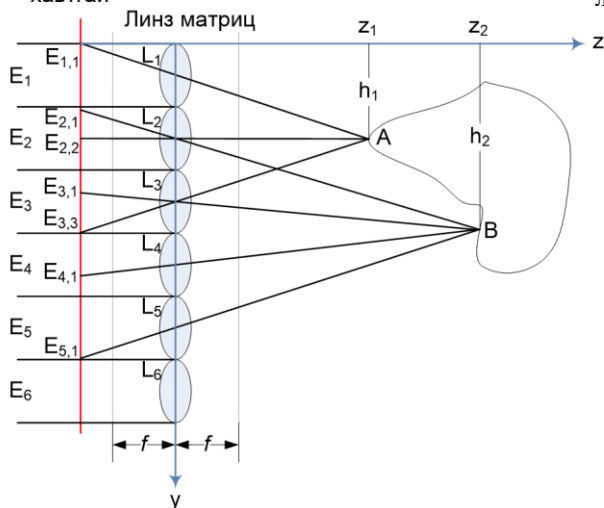
$$S'D = \frac{g \cdot SA}{z}, \quad (1)$$

энд SD нь гэрэл үүсгэгч S өндөр, z нь дүрийн үүсэх зай.

### IV. ТООЦООЛЛЫН АРГА

Энэ арга нь 3X биет болон линз матриц өгөгдсөн гээд компьютер ашиглаж бодит линз матриц болон 3X биетийн параметруудийг ашиглаж элементар дүрс үүсгэх юм. Оптик аргаар буюу бодит линз матриц, биет ашиглан үүсгэсэн элементар дүрсээс 3X зургийг харах нь төвөгтэй байдаг. Учир нь линз матриц камерыг төгс параллелиар байрлуулах боломжгүй болон дүрс нь эргэх, эхлэл цэгийг зөв олохгүй гэх мэт хүндрэлүүд гарч ирдэг.

Элементар дүрсийн хавтгай



Зураг 4. Элементар цэгүүд үүсгэх.

Элементар линзүүд 3X биетээс зургийг үүсгэх учраас нэг элементар линзээр үүсэх нэг элементар зургийн хэмжээ линзийн хэмжээтэй адилхан байна. Үүнийг элементар дүрсийн нөхцөл гэнэ. Зураг 4-т зургаан элементар линз болон зургаан элементар зургийг үзүүлэв. Линзээс  $z_1$  болон  $z_2$ ,  $y$  тэнхлэгийн дагуу  $h_1$  болон  $h_2$  зайд орших А, В цэгүүдийн элементар дүрсүүд хэрхэн үүсэхийг Зураг 4-т үзүүлэв. Ингэхдээ бид зөвхөн 2-р цацрагийг ашигласан.

Гурван хэмжээст биетийн А цэгийн гурван элементар  $E_{1,1}$ ,  $E_{2,2}$ ,  $E_{3,3}$  цэгүүд  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  элементар зураг дээр  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  линзүүдээр үүснэ. Линз болон элементар зургийн хэмжээ адилхан байна гэдэг нөхцөлийн хангахгүй учраас бусад линзээр А цэгийн дүрс үүсэхгүй. Үүнтэй адилхнаар В цэгийн 4 элементар цэг  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$  линзүүдээр элементар дүрсийн хавтгай дээр үүснэ. Элементар цэгүүдийн байрлал нь линзийн байрлалаас хамаарах бөгөөд Томьёо (1) ийг ашиглан олбол

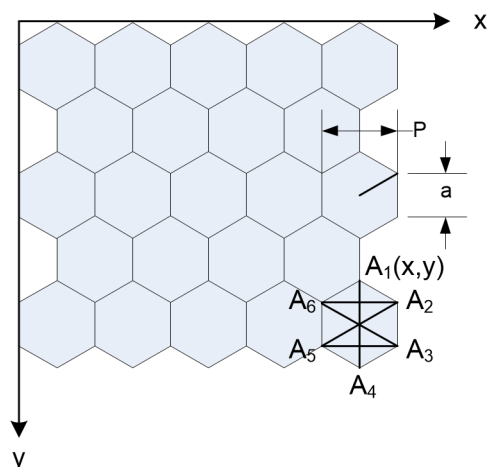
$$E_y = P_L \cdot j + (P_L \cdot j - h) \frac{g}{z},$$

энд  $P_L$  нь линзийн хэмжээ,  $j$  нь линзийн индекс,  $h$  нь  $y$  тэнхлэгийн дагуух 3X цэгийн өндөр,  $g$  элементар дүрсийн хавтгай болон линз матрицын хоорондох зай.

### V. ШИНЭ АРГА

Нийлмэл дүрсэн технологид тэгш өнцөгт, тойрог, зургаан талт гэсэн 3 линзийг өргөн ашигладаг. Тэгш өнцөгт болон тойрог линзээс бүрдсэн матриц нь  $x$  болон  $y$  тэнхлэгийн дагуу тэгш хэмтэй байрласан байдаг болохоор линзийн байрлалыг тодорхойлох амархан байдаг. Бид энэ судалгааны ажилдаа тэгш хэмтэй биш бөгөөд линзийн төвүүд нь  $x$  болон  $y$  тэнхлэгийн дагуу өөр байрладаг зургаан талт линз

матриц дээр тооцоо хийлээ. Зураг 5-д зургаан талт линз матрицыг үзүүлэв.



Зураг 5. Зургаан талт линз матриц

Зургаан талт линз ашиглаж байхад элементар линз болон элементар зураг хоёрыг тохирч байгааг шалгах хэцүү байдаг. Тиймээс бид энэ шалгах үйлдлийг хялбарчлах зорилгоор элементар линзүүдийн төвүүдийн координатыг хадгалсан. Түүнчлэн 3-X биетээс элементар дүрсийн хавтгай уруу бодоход 3X биетийн цэг ямар ямар линзээр үүсэж байгааг шалгах хэрэгтэй болдог учраас уламжлалт аргаар бодоход давхар цикл гүйлгэж бодуулдаг. Бидний шинэ арга нь Элементар дүрсийн хавтгайгаас нийлмэл цэг буюу 3-X цэг уруу дараах томъёогоор бодно.

$$\begin{aligned} u &= x_{CL} + (x_{CL} - E_x) \frac{z}{g}, \\ v &= y_{CL} + (y_{CL} - E_y) \frac{z}{g}, \end{aligned} \quad (3)$$

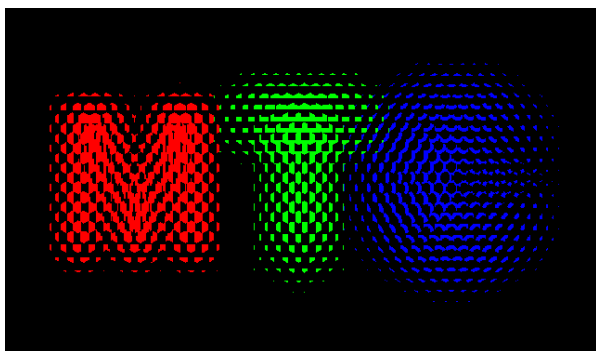
энд  $x_{CL}$ ,  $y_{CL}$  элементар линзүүдийн төв,  $E_x$ ,  $E_y$  элементар цэгийн координат. Хэрэв тухайн бодсон цэг  $(u, v, z)$  дээр 3X дүрсийн цэг байх юм бол элементар цэгийн  $(E_x, E_y)$  өнгийг 3X дүрсийн өнгөөр хадгална. Элементар дүрсийн хавтгайгаас 3X биет уруу бодсоноор линз болгоноор шалгах шаардлагагүй болсон. Ингэснээр үүсэх элементар дүрсэн зургийн цэгийн хэмжээгээр нэг л цикл хийснээр 3X биетийн Элементар дүрсийг үүсгэнэ.

### VI. ҮР ДҮН

Шинэ аргаар бодолт хийхэд шаардлагатай параметруудийг Хүснэгт 1-т үзүүлэв. Элементар зураг үүсгэхдээ линз матрицаас буюу  $z$  тэнхлэгийн дагуу 11 мм зайд “М” биет, 24 мм зайд “Т” биет, 40 мм зайд “С” биет гэсэн гурван дүрсийн элементар дүрсийг гурван аргаар бодуулсан.

Нэр	Зориулалт	Үзүүлэлт
Линз матриц	Линзийн хэлбэр	Зургаан талт
	Линзийн хэмжээ	2.286 mm
	Фокусын урт	3 mm
	Линз матрицын хэмжээ	160 mm * 100 mm
Зай	Биет 1	40 mm
	Биет 2	25 mm
	Биет 3	11 mm

Нэг дүгээр арга, уламжлалт аргаа Хүснэгт 1 байгаа үзүүлэлтээр 3 өөр зайд байгаа биетийн элементар дүрсийг үүсгэхэд 7386 секунд бодсон. Хоёр дугаар аргаар буюу бүх линзийг шалгадаггүй аргаар элементар дүрс үүсгэхэд 4237 секунд болсон. Гурав дугаар арга буюу бидний шинэ аргаар элементар дүрс үүсгэхэд 124 секунд бодсон. Энэ гурван аргаар үүсгэсэн Элементар дүрсүүд ижилхэн байсан бөгөөд Зураг 6-д үзүүлэв. Зураг 6 гаас ойрхон байгаа “М” биетийн элементар дүрс нь цөөхөн линзээр үүсэн буюу жижиг байгааг харж болно. Линз матрицаас хамгийн хол зайд байгаа “С” биетийн дүрс нь олон линзээр үүсэн учраас том байна. Энэ нь Зураг 4 дээр байгаа А болон В цэгүүд харгалзан 3 болон 4 цэгээр үүсдэгтэй адилхан юм.



Зураг 6. Шинэ аргаар үүсгэсэн элементар дүрс.

## VII. ДҮГНЭЛТ

Бидний санал болгож байгаа шинэ арга нь элементар линзүүдийн төвийг бодож хадгалснаар линзийн хэлбэрээс хамаарахгүй үүсгэх боломжтой

юм. Түүнчлэн элементар дүрсийн хавтгайгаас 3 хэмжээст биет уруу бодсоноор элементар линзүүдийг гүйлгэж шалгах циклгүй болсноор хурдан бодох боломжтой болсон. Үр дүнгээс харахад шинэ аргаар бодсоноор уламжлалт аргаас 60 дахин хурдан бодож байна. Цаашид энэ ажлыг үргэлжлүүлэн 3Х модель үүсгэдэг програмтай холбож real-time-аар нийлмэл дүрсэн дэлгэцэд үзүүлэх боломжтой юм.

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг санхүүжүүлсэн Шинжлэх ухаан технологийн санд талархал илэрхийлье.

## НОМ ЗҮЙ

- [1] L. Lipton, Stereographics Developers' Handbook (Stereographics Corporation, 1997), Ch. 2.
- [2] J. L. Ferguson, S. D. Robinson, C. W. McLaughlin, B. Brown, A. Abileah, T. E. Baker, P. J. Green, "An innovative beamsplitter-based stereoscopic/3D display design," Proc. SPIE 5664, 488–494 (2005).
- [3] N. A. Dodgson, "Autostereoscopic 3D displays," Computer, 38, 31–36 (2005).
- [4] G. Lippmann, "La Photographie Integrale," Comptes-Rendus Academie des Sciences, 146, 446 (1908).
- [5] A. Stern and B. Javidi, "Three dimensional sensing, Visualization, and processing using Integral imaging," Proceedings of IEEE Journal, special issue on 3-D technologies for imaging and display, 94, 591-607 (2006).
- [6] B. Lee, J.-H. Park and S.-W. Min, "Three-dimensional display and information processing based on integral imaging," in Digital Holography and Three-Dimensional Display, T.-C. Poon, eds. (Springer, New York, USA, 2006).
- [7] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three dimensional image based on integral photography," Appl. Opt, 36, 1598-1603 (1997).
- [8] G. Baasantseren, J.-H. Park, and N. Kim, "Depth discrimination enhanced computational Integral imaging using Random pattern illumination," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 48, Issue 2, pp. 020216-1 ~ 020216-3, 2009.
- [9] T. Naemura, T. Yoshida, and H. Harashima, 3-D Computer graphics based on integral photography, Optics Express, Vol. 8, No. 2, pp. 255-262, 2001