

Хадан Дээрх Тамганы Дүрсийг Адууны Тамганы Дүрстэй Машин Сургалтын Аргуудаар Харьцуулах

Пэрэнлэйлхүндэв Гантуяа*, Батсуурь Сувдаа*, Дамдинсүрэн Цэвээндорж**

*Монгол Улсын Их Сургууль, Мэдээлэл, Компьютерийн Ухааны Тэнхим

**Шинжлэх Ухааны Академи, Түүх Археологийн Хүрээлэн

И-мэйл: gantuya@seas.num.edu.mn, suvdaa@seas.num.edu.mn, dtseveen@yahoo.com

Хураангуй: Нүүдлийн соёлын олон зууны түүхэн уламжлалтай манай орны нутагт орших археологийн олдвор болох хад, чулуун дээр дүрслэн үлдээсэн элдэв тамга нь тухайн газарт амьдарч буй малчдын адуунд тамга хэлбэрээр уламжлагдан ирсэн дүрсийн хамаарлыг бидний хийсэн судалгаанаас харж болно. Энэ ажлаар бид адууны 244 тамгыг Хэнтий аймгийн нутагт орших Рашаан хад хэмээх газарт байх том чулуунд сийлж үлдээсэн 260 гаруй тамганы дүрстэй харьцуулах ажлыг хийсэн. Ингэснээр монгол малын тамганы угшил тухайн газар нутагт байх археологийн олдвор, хадны зургаас үүдэлтэй болох талаар санааг дэвшүүлэн хамаарлыг судалсан болно. Харьцуулах үйл ажиллагааг машин сургалтын арга KNN, NaiveBayes, Decision Table, random Forest зэрэг үндсэн алгоритмуудаар таниулан туршсан. Эндээс хамгийн өндөр үр дүнгээр нь хадны дүрс адууны тамганы дүрсийн хамаарлыг тодорхойлсон болно.

Түлхүүр үгс: Адууны тамга, хадны дүр, танилт, KNN, NaiveBayes, Decision Table, random Forest

I. ОРШИЛ

Компьютерийн ухаан, тэр дундаа машин сургалтын аргууд нь өнөө цагт олон салбарт хэрэглэгдэх болсон билээ. Бидний энэ удаагийн ажил нь урлаг судлал болон компьютерийн ухааны салбар дундын шинжтэй. Урлаг судлалын талаас нь авч үзвэл өнөөгийн монгол үндэстний адууны тамганаас ч эртний монголчуудын соёлын шинж улбааг олж харж болох юм. Нэг үгээр хэлбэл Монголчуудын тамгаар дамжсан соёлын улбаа тасралтгүй тов тодоор үлджээ. Хэнтий аймгийн Батширээт сумын нутаг Рашаан хаднаа сийлбэрлэгдэн үлдсэн асар баян тамга дүрсээс жишээ болгон авч туршилт хийсэн. Дэлхийн улс түмэн, овгийн байгуулалтай байх үеэсээ эхлэн нэг овог нөгөөгөөс ялгах тэмдэг, билэгдэл хэрэглэх болжээ. Тэр тамга тэмдгээ идээшиж нутагшсан газрынхаа сүр бараатай хад чулуу болон өөрсдийн үйлдсэн сав суулга, хөдөлмөрийн багаж, бусад эд өлгөсийн зүйлд дурсгал болгон сийлж үлдээдэг заншилтай байв. Тийм тамга тэмдэг одоо манай орны аль ч нутгаас элбэг олддог юм.

Монгол орны хэмжээнд Хэнтийн Рашаан хад, Говь-алтайн Цагаан гол, Архангайн Тайхар чулуу зэрэг хад цохионд оршиж байсан эртний овгуудын тамгын цуглуулга, баялаг дурсгал үлдснийг судлаачид олж илрүүлсэн байдаг.[1] Тэдгээрийг эрдэмтэд эртний овог аймгийн соёл иргэншлийн хөгжлийг тодорхойлох хэрэглэгдэхүүн гэж үздэг байна. Эдний дотроос хамгийн баян цуглуулгатай нь 260 шахам тамгатай

Рашаан хад юм. Рашаан хад одоогийн Хэнтий аймгийн Батширээт сумын нутаг дэлхийн газарзүйн 110-р уртраг, 48-р өргөрөгт оршино. Хадан самбарын урт нь 6м, өргөн нь 2-3м, зузаан нь 60-70 см буюу нийт зураг дүрс бүхий толио нь 25 хавтгай дөрвөлжин м орчим талбай эзэлсэн байна. Олон дүрс тэмдгийг нэгдсэн тогтолцоотойгоор байрлуулж сийлээгүйн дээр уг чулуу нь бүдүүн ширхэгтэй боржин тул өнгөн тал нь он цагийн нөлөөнд их л холтрон гэмтсэн байна. Монголд археологийн /овгийн тамганы/ дурсгаланг хад чулуунд үлдээгсэдтэй эрт урьдны элэр баларын угшил уламжлал бүхий болох нь ерөнхийдөө мэдэгдсэн гэж болно.[1]

Иймээс бид өнөөгийн машин сургалтын аргаар хадны дүрс болон адууны тамганы хамаарлыг тодорхойлох зорилгоор түгээмэл хэрэглэгддэг аргуудыг сонгон харьцуулсан туршилт хийлээ. Үүнтэй адилаар гадаадын судлаачдын судалгааг авч үзэхэд брэндийн тэмдэг, замын тэмдэглэгээ, үхэр малын тамга зэргийг машин сургалтын аргаар таниулсан судалгаанууд нэлээд байдаг. Жишээ нь Замын тэмдэг илрүүлэх таних [5], дүрс боловсруулалт ашиглан шуудангийн марк таних ялгах[8], Зурган дээр байгаа огноо илрүүлэх таних [9] мөн дүрсийн ирмэгт суурилсан чиглүүлэгчгүй ангилагчаар зургаас текстийн хэсгийг илрүүлэх [10] зэрэг байна. Энэ ажлын 2-р бүлэгт Хадны дүрс, адууны тамганы талаар, 3-р бүлэгт танилт хийх үе шат, танилтанг ашигласан аргуудын ерөнхий шинжийн талаар, 4-р бүлгээр харьцуулсан үр дүнгийн талаар тайлбарлан бичсэн болно.

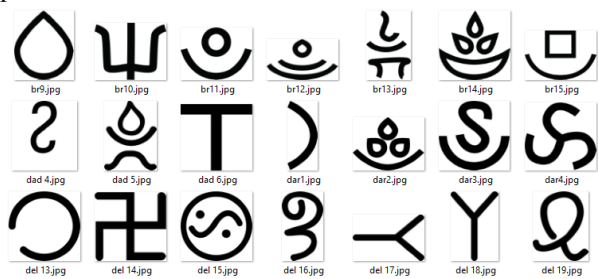
II. ХАДНЫ ДҮРС, АДУУНЫ ТАМГАНЫ ХАМААРАЛ

Бид энэ удаагийн судалгаанд адууны 244 тамганы дүрсийг хадны 260 дүрстэй хамааралтай эсэхийг шалгахар бэлтгэсэн. Түүвэр тус бүрийн зарим жишээг Зураг 1, 2-т дүрслэн үзүүлэв.



Зураг 1. Рашаан хадны тамганы дүрс

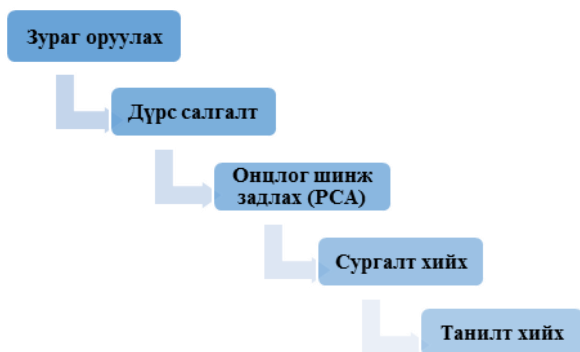
Зураг 1-т рашаан хадны тамганы дүрсийг сканердсан зурагнаас сэргээн 10 бүлэгт хуваан ангилж тус бүрд нь зураг болгож хадгалсан.



Зураг 2. Адууны тамга

Зураг 2-т 244 адууны тамга тус бүрийг зураг болгон 10 бүлэгт хуваан, танилтанд бэлтгэж тестийн зураг болгон ангилсан.

III. СИСТЕМИЙН ЕРӨНХИЙ БҮТЭЦ



Зураг 3. Системийн бүтэц

Системийн бүтцийг аваад үзвэл зураг оруулах буюу эхний хэсэгт номын хуудаснаас сканнердсан зураг оруулаад дүрсийг нэг бүрчлэн салгаж *.jpg өргөтгөлтэй хадгална.

Уг зургаас тамганы дүрс нэг бүрийг салган авч тус бүрд зураг болгон хадгалсан. Сургах дүрсүүдийг түүвэрлэн сан үүсгэж, гол компонентын анализ буюу PCA(Principal Component Analysis) [8,9,10] алгоритмыг ашиглан пиксэлийн утга агуулсан 2500 (50x50 хэмжээтэй зургийн) хэмжээст вектороос хамгийн чухал буюу хувийн утга өндөртэй 28 хувийн векторыг сонгон хувирагдалт хийн онцлог шинжийг нь гарган авсан. Рашаан хадны 260 дүрсийг k-ойрын хөрш (K-Nearest Neighbors), НэивБэйс(Naive Bayes), Шийдвэрийн мод (Decision Tree), Санамсаргүй ой

(Random Forest), Нейрон сүлжээ (Neural Network) аргуудаар сургалт хийж, сургасан сантайгаа адууны 244 тамгатай харьцуулалт хийсэн.

A. Танилтын аргууд

Бид энэ ажлын хүрээнд энгийн бөгөөд түгээмэл хэрэглэгддэг

1) Хамгийн ойрын хөрш (K-Nearest Neighbors)

Энэ нь хамгийн энгийн бөгөөд боломжийн үр дүн үзүүлдэг ангиллын аргын нэг юм. Сургалтын процесс нь зөвхөн өгөгдлүүдийг хадгалан, танилтын процесст уг хадгалсан өгөгдөл нэг бүртэй оролтын өгөгдлийг харьцуулан хамгийн ойрын буюу хамгийн бага зайтай байгаа k ширхэг өгөгдлийн ихэнх нь аль ангилал байгаагаар шийд гаргадаг. Энэ арга нь энгийн хэдий ч сүүлийн үеийн үр дүнтэй (state-of-the-art) аргуудтай байнга харьцуулагдаж байдаг арга юм. Сургалтын өгөгдөл олон байх тусам, мөн онцлог шинжийн тоо их байх тусам танилтын хугацаа өсдөг нэг сул талтай. [4], [6], [7].

2) NaiveBayes

Энэ арга статистик аргуудын төрөлд ордог ба болж өнгөрсөн процессуудын шинжилгээнд үндэслэн болох процессийг таамаглан танилт хийдэг. Статистик аргууд нь өгөгдлийн түгэлтийн нормал гэж таамаг дэвшүүлэн дундаж олох, дундажаас хазайх хазайлт олох зэргээр нэг ангиллын өгөгдлүүдийн ерөнхий шинжүүд, бусад ангиллаас ялгарах шинж зэргийг голлон тооцож, нөхцөлт магадлалын түгэлт, жин зэргээр Бэйсийн онолд үндэслэн танилт хийдэг нэгэн суурь арга юм. Хэрэв өгөгдлийн түгэлт нормал биш байх тохиолдолд алдах эрсдэлтэйгээрээ сул талтай. [11-13]

3) Decision tree

Шийдвэрийн мод нь танилт хийхийн тулд онцлог шинжийн утгуудаар модны зангилаа болгон авч нөхцөл шалган уг нөхцлийн төлвөөс хамааран дараагийн онцлог шинж буюу зангилаанд шилжих замаар бүтэцлэгдсэн байдаг. Танилт хийхдээ модны үндсээс эхлэн навч хүртэл шалгаж буй нөхцлүүдийн биелж байгаа тохиолдолд тодорхой нэг навчинд хүрэх буюу уг навчийг юу гэж ангилсан байгаа тэр ангилал болно. Шийдвэрийн модыг логикийн үйлдлээр бол AND-үүдийн OR-ууд буюу нэг ангилал нь олон навчинд байх боломжтой буюу үндсээс навч хүрэх нэг замын дагуух бүх нөхцлүүд биелсэн байх ёстой гэсэн үг. Шийдвэрийн мод ашиглах үед тулгардаг нэг асуудал нь өгөгдлийн онцлог шинжийн утга дискрет биш байвал асуудал үүсэх юм. Тийм тохиолдолд их буюу тэнцүү, тэдээс бага гэх мэт нөхцөл шалгаж шийдвэрлэдэг. Оновчтой модыг бүтэцлэх нь модны хэмжээ бага жигд тэгш байх юм, энэ тооцооллын хувьд давуу талтай. Үүнийг хэрхэн шийдэхээс хамааран олон төрлийн мод үүсдэг ба энтропи тооцох шаардлагатай байдаг. [14, 15]

4) Санамсаргүй ой (Random Forest)

Санамсаргүй ой арга нь сүүлийн үеийн үр дүн өндөртэй аргуудын нэг бөгөөд ой гэдэг нь олон моднуудаас тогтоно гэсэн утгатай арга юм. Анх 1995 оноос санал болгон гарч ирсэн ба санамсаргүй сонголтоор олон онцлог шинжүүдийн хосмоогоор шийдвэрийн моднууд үүсгэн, олон боломжуудаас хамгийн оновчтойг сонгох замаар үүсгэнэ. Мөн ойрын хөршүүдтэй ч хослуулан үүсгэх тохиолдол байдаг. Энэ

аргыг танилтын олон ажилд хэрэглэсэн судалгаа их байдаг. [16]

5) *Нейрон сүлжээ (Neural Network)*

Нейрон сүлжээ нь шугаман ангилагчийн өргөтгөсөн загвар гэж хэлж болно. Шугаман ангилагч нь гүдгэр түгэлтэй өгөгдлийн олонлогуудыг шулуунаар ангилах боломжтой буюу математикаар шугаман тэгшитгэлийн хариу боддог шиг сургалтын процесс нь явагддаг. Гэтэл өгөгдлийн түгэлт гүдгэр байх тохиолдол тийм ч их биш учраас шугаман биш байдлаар ангилах нэг хэлбэр нь олон нууц давхарга үүсгээд оролтын утгуудыг тодорхой жин буюу коэффициентээр үржиж нэмээд эхний нууц давхаргын нэг зангилаан дээр хүрнэ, мөн тэр утгыг өөр жингээр үржиж нэмээд дараагийн давхаргын нэг зангилаанд гэх мэт явсаар гаралтын давхаргын зангилаанд хүрч босгочлогдон хариу гардаг. Сургалтын процесс нь олон төрлийн математикийн аргууд ашигладаг ба өнөө үед нейрон сүлжээний маш олон хувилбар гарч, судалгааны олон салбарт үр дүнгээ өгч байгаа. Сургах хугацаа нь удаан ч, таних хугацаа нь хурдан тул онлайн процессуудын их үр дүнтэй хэрэглэгдэж байна. [17] Туршилтын үр дүнг дараах бүлэгт дэлгэрэнгүй тайлбарласан болно.

IV. ТУРШИЛТ

Туршилт 1-д Рашаан хадны 260 тамганы дүрсийн 66 хувийг сургаж, 34 хувийг таниулсан үр дүнг, Туршилт 2-д Рашаан хадны 260 тамганы дүрсийг сургаж, Хэнтий аймгийн адууны 244 тамганы дүрсийг РСА-н 28 утган дээр, NaiveBayes, Neural Network (Logistic), DecisionTree, RandomForest, KNN-н аргуудаар харьцуулсан. Үр дүнг нь хүснэгт 1 харуулав.

Хүснэгт 1. РСА-ийн 28 утган дээр танилт хийсэн үр дүн

Туршилт 1		Танилтын аргууд	Зөв ангилсан (Хувь)
Рашаан хадны тамга	1.	Naïve Bayes	53 %
	2.	1NN(KNN)	57 %
	3.	Neural Network (Logistic)	41%
	4.	Decision tree(J48)	47%
	5.	Random Forest	53%
Туршилт 2			
Адууны тамга	1.	Naïve Bayes	25%
	2.	Decision tree(J48)	20%
	3.	1NN(KNN)	15%
	4.	Neural Network (Logistic)	24%
	5.	Random Forest	31%

РСА-ийн 28-ийн утган дээр хэдэн хувьтай таньж байгааг хүснэгтээс харьж болно. Эндээс үзвэл хадны дүрсийн хувьд KNN-ийн утга хамгийн их буюу 57%-тай, хадны дүрсийг адууны тамгатай харьцуулахад Санамсаргүй ой арга нь хамгийн өндөр буюу 31%-тай гарч байгаа нь манай судалгааны хувьд үр дүнтэй гэж үзэж байна. Бидний өгөгдлийн хувьд машин сургалтын дээрх аргуудын ойрын хөрш, санамсаргүй ой аргууд нь илүү өндөр танилттай байна.

ДҮГНЭЛТ

Бидний хийсэн судалгаагаар нийт тамганы 30-аас дээш хувьтай таньж байгаа нь малчдын адуундаа дарсан тамга нь хаднаас нилээн хамааралтай гэж дүгнэж болох юм.

Эндээс монголчууд малын тамгаа сонгохдоо олон талын судалгаанд үндэслэн тэр дундаа овгийн тамгийн сэргээн тухайн нутаг оронд байгаа нэр сүртэй хад, чулуун дээр дарсан тамга тэмдгийг баяжуулан сонгодог ард түмэн гэдэг нь харагдаж байгаа юм. Монголчуудын соёл уламжлалыг судлах шинжлэх ухаанд бусад салбарын тэр дундаа компьютерийн ухааны машин сургалтын аргыг ашиглах нь үр дүнтэй юм гэж дүгнэж болно. Цаашид дүрс танилтын бусад аргуудыг судлан бэлчээрт байгаа малын бодит зурагнаас тамгатай хэсгийг ялган авч дүрсээр нь хэний адуу, ямар утга бүхий тамга болох зэргийг мэдэх боломжтой юм.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Kh.Perlee, “Бүтээлийн чуулган”, Улаанбаатар ISBN: 976-99962-3-125-4, 2012
- [2] Ts.Battulga, “Монголын руни бичгийн бага дурсгалууд”, 2005
- [3] S.Dulam, “Билэгдэл зүй”, 2010
- [4] H.Ebrahimpour and A. Kouzani, “Face Recognition using bagging KNN”, Int’l Conf. on CVPR, IEEE, pp. 209-216, 1996.
- [5] H. Fleyeh, “Traffic and Road Sign Recognition”, doctoral thesis, Napier University, 2008
- [6] K.Patrik, Martina Z, Robert H, Roman J, Miroslav B and Jan H, “A Novel Approach to Face
- [7] Ž.Slovakia Recognition using Image Segmentation Based on SPCA-KNN Method“, University of Žilina, Univerzita 1, 010 26, 2013
- [8] K. H.Mohammad., Abu A. S. R., Rajibul A., and Dr.William P., “Automatic Face Recognition System using P-tree and K-Nearest Neighbor Classifier”, 2004
- [9] G.LiJune, “Postage stamp recognition using image processing“, Faculty of Engineering and Sustainable Development, 2011
- [10] X.Chen and H. Zhang “Photo time-stamp detection and recognition” 7th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2003), 2-Volume Set, Edinburgh, Scotland, UK, pp.319-322, 2003.
- [11] Harry Zhang, "The Optimality of Naive Bayes," in 17th FLAIRS Conference, 2004.
- [12] Wray Lindsay Buntine. A Theory of Learning Classification Rules. PhD thesis, University of Technology, Sydney, 1990.
- [13] W. J. Frawley, G. Piatetsky-Shapiro, and C. J. Matheus. Knowledge discovery in databases: An overview. Ai Magazine, 13:57–70, 1992.
- [14] Aha, D., Kibler, D. & Albert, M. (1991). Instance-based learning algorithms. Machine Learning, 6(1), 37–66.
- [15] Ryuichi Oka. Spotting method for classification of real world data. The Computer Journal, 41(8):559–565, 1998
- [16] S. Sheik Mohammed Ali, Niranjana Joshi, Bobby George, and Lelitha Vanajakshi. Application of random forest algorithm to classify vehicles detected by a multiple inductive loop system. In 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pages 491495, September 2012.
- [17] A Global-Local Learning Algorithm, Proceedings from the World Congress on Neural Networks, Vol 1, pp. 587-590, Washington 95. J. Depenau.

Өндөр нягтшилтай, нимгэн цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэц

Д.Номин-Эрдэнэ*, Э.Билгүүн, Б.Ганбат†

* † Электроник, холбооны инженерчлэлийн тэнхим,
Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль,
Монгол Улсын Их Сургууль

* nomin-erdene@seas.num.edu.mn † ganbat@seas.num.edu.mn

Хураангуй— Тусгай зориулалтын нүдний шилгүйгээр гурван хэмжээст дүрсийг хардаг Цэгэн гэрэл үүсгэгч буюу Point Light Source (цаашид PLS гэх) дэлгэцийг томоор хийхэд цуглуулагч линзээс шалтгаалж нүсэр том, зузаан болдог бөгөөд хоёр Цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зайгаар тодорхойлогддог нягтшил бага гэсэн дутагдалтай. Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь томоор хийж болох өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийг лабораторийн орчинд хийх юм. Нэмэлтээр элементал линз бүрийн ард 3×3 гэрэл үүсгэгч, линз матриц, хаалт ашиглан цэгэн гэрэл үүсгэгч хоорондын зайг багасган нимгэн дэлгэцтэй нэмэлт гэрлийн үүсгүүрийг өөр өөр өнцгөөр тусгахгүй болсон. Туршилтын үр дүнгээс харахад бидний дэвшүүлж буй шинэ арга нь цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зайг 3 дахин багасгаж чадсанаар нягтшилыг 3 дахин ихэсгэж байна.

Түлхүүр үг— *Integral Imaging display, 3-D display, Point Light Source display*

I. ОРШИЛ

Гурван хэмжээстээр (3-D) хардаг олон төрлийн дэлгэцийн технологиуд байдаг [1-4]. Эдгээрээс нийлмэл дүрсийн [1, 4] технологийн нэг төрөл болох PLS дэлгэц нь дэлгэцэнд гарах дүрсийг харахдаа, хэрэглэгч тусгай зориулалтын нүдний шилгүйгээр хардаг, өнгөт, хэвтээ болон босоо тэнхлэгийн дагуу 3-D-ээр хардаг, хэрэглэгчийн байрлалаас хамаарахгүй гэх мэт олон давуу талтай боловч харагдах өнцөг бага [5-8], гүний хэмжээ бага [9,10], нэг цэгийн хэмжээ том буюу нягтшил бага зэрэг дутагдалтай [11, 12]. PLS дэлгэцийн нягтшил нь хоёр цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зайгаар тодорхойлогддог. Уг дэлгэцийн урд суугаа хэрэглэгчийн нүдэнд 3-D дүрс нь өндөр нягтшилтай буюу цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зай бага байх тусмаа илүү тод хардаг. Уламжлалт PLS дэлгэцийн нягтшил бага байгаагаас энгийн хэрэглээнд нэвтэрч чадахгүй байна. Yunhee Kim нар цахилгаанаар Pinhole массивыг (олон жижиг нүхтэй хаалт) X, Y тэнхлэг дагуу хөдөлгөн нягтшилийг 3 дахин ихэсгэсэн боловч механик хөдөлгөөн хийдэг, байрлал бүрт элементал зургаа өөрчилдөг дутагдалтай [13]. Jae-Hyeung Park нар уламжлалт PLS дэлгэцийн цуглуулагч линз болон линз матриц хоёрын хооронд линз матриц нэмж байрлуулан дэлгэцийн нягтшилыг сайжруулдаг боловч өртөг өндөртэй, зузаан дэлгэц болдог сул талтай [14]. Энэхүү илтгэлд PLS дэлгэцийн цуглуулагч линзийн оронд линз матриц, нэмэлтээр гэрэл үүсгэгч, хаалт байрлуулсанаар дэлгэц нимгэрч, нягтшилыг 3

дахин ихэсгэх бидний шинэ аргыг танилцуулна. Хоёрдугаар бүлэгт уламжлалт аргаар тодорхойлсон нягтшилын талаар, гуравдугаар бүлэгт бидний дэвшүүлж буй PLS дэлгэцийн нягтшилыг ихэсгэх аргын талаар, дөрөвдүгээр бүлэгт лабораторийн орчинд угсарсан өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийн туршилтын үр дүнгийн талаар, тавдугаар бүлэгт дүгнэлтийг танилцуулна.

II. УЛАМЖЛАЛТ PLS ДЭЛГЭЦИЙН БҮТЭЦ ТҮҮНИЙ НЯГТШИЛ

Нийлмэл дүрсэн дэлгэцийн нэг төрөл болох PLS дэлгэцийн бүтцийг Зураг 1-д үзүүлэв. Уг дэлгэц нь гэрэл үүсгэгч, цуглуулагч линз, линз матриц, хоёр хэмжээст тунгалаг Spatial Light Modulator (цаашид SLM гэх) дэлгэцээс бүрдэнэ.

Цуглуулагч линзийн фокусын урт f_1 -д байгаа гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацраг цуглуулагч линзээр нэвтэрч цуглуулагч линзийн оптик гол тэнхлэгтэй параллель цацрагууд болж тархана. Эдгээр параллель цацрагууд линз матрицаар нэвтэрч линз матрицаас f зайд буюу линз матрицын фокусын цэг дээр цугларна. Тиймээс линз матрицын жижиг линз (цаашид элементал гэх) бүрийн ард цугларах бөгөөд энэ нь элементал линз болгоны ард нэг гэрэл үүсгэгч байгаа мэтээр харагдана. Эдгээрийг цэгэн гэрэл үүсгэгч гэж нэрлэдэг. Линз матрицын фокусын уртаас хоёр дахин их буюу $2 \cdot f$ зайд SLM дэлгэц байрлах бөгөөд уг дэлгэцэнд элементал дүрсийг үзүүлнэ.

Ингэж байрлуулсанаар PLS дэлгэцийн зузаан нь $l_{d,con}$ хэмжээгээр тодорхойлогдох ба гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагыг параллель болгох үүрэгтэй цуглуулагч линз нь томрох тусмаа фокусын урт ихэсч дэлгэц зузаан, нүсэр болдог сул талтай. Цэгэн гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд SLM дэлгэцээр нэвтрэхдээ элементал зургаар модуляцлагдаж 3-D дүрсийг үүсгэнэ. Зураг 1-д үзүүлсэнээр нийлмэл цэг нь SLM дэлгэцээр модуляцлагдсан “Elemental Image” (EI)-үүдийн хөндлөн огтлолцол дээр үүсдэг. Жишээ нь, Зураг 1-д үзүүлсэнээр гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд линз матрицын элементал линз $L_4, L_5, L_6, L_7, L_8, L_9$ тус бүрээр нэвтэрч $EI_{4,1}, EI_{5,1}, EI_{6,1}, EI_{7,1}, EI_{8,1}, EI_{9,1}$ элементал цэгүүдээр нэвтрээд нэг цэгт огтлолцох бөгөөд Z, Y тэнхлэгийн z_1, y_1 зайд нийлмэл P1 цэг үүснэ.

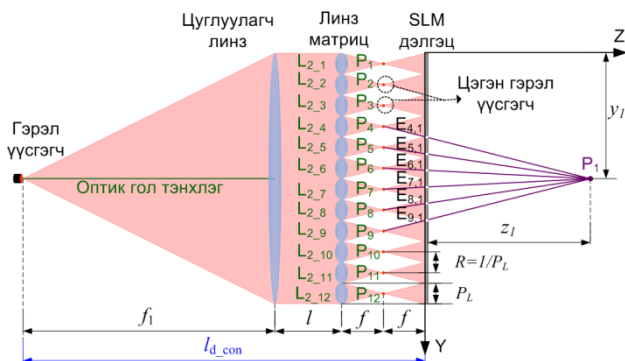
Цэгэн гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд цааш тархахдаа хоорондоо давхцахгүй байрлал болох линз матрицын фокусын урт f -тай тэнцүү зайд SLM дэлгэцийг байрлуулдаг ба энэ нь линз матрицыг

бүрдүүлж буй элементал линзийн хэмжээтэй тэнцүү байна.

Уг дэлгэцийн нягтшилыг өмнөх ажлуудад [11, 12] элементал линзийн хэмжээн урвуугаар буюу дараах томъёогоор тодорхойлсон байдаг.

$$R = \left(\frac{1}{P_L} \right). \quad (1)$$

Үүнд: P_L – линз матрицыг бүрдүүлж буй нэг элементал линзийн хэмжээ (мм – ээр хэмжигдэнэ).



Зураг 1. PLS дэлгэцийн геометр байгуулалт, түүний нягтшилын тооцоолол.

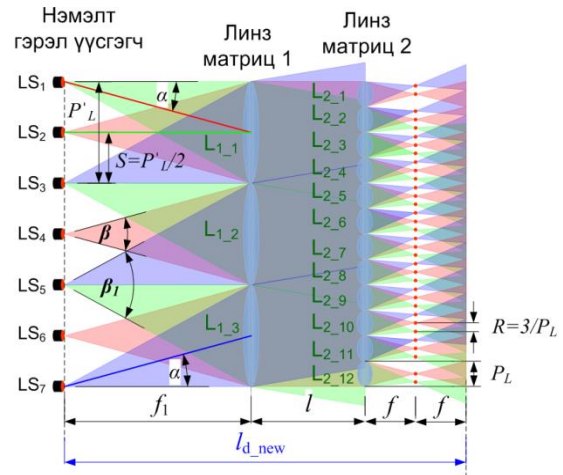
Зураг 1-д үзүүлсэнээр PLS дэлгэцийн нягтшил нь хоёр цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зайгаар тодорхойлогддог. Томъёо (1)-ээс линз матрицийн элементал линзийн хэмжээ бага байх тусмаа PLS дэлгэцийн нягтшил ихэснэ гэдэг нь харагдаж байна. Уг томъёогоор PLS дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ буюу дэлгэцэнд ашиглаж буй линз матрицийн элементал линзийн хэмжээ 1 мм гэвэл нягтшил нь урвуугаар тодорхойлогдож $1/1 \text{ мм} = 1$ болно. Энгийн хоёр хэмжээст LCD дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ нь дунджаар 0.25 мм байгаа ба нягтшил нь $1/0.25 \text{ мм} = 4$ болоод байна. Үүнээс PLS дэлгэцийн нягтшил бага байгаа нь энгийн хэрэглээнд маш бага хэмжээ ба 3-D дүрсийг бүдэг харна гэсэн үг. Тиймээс бид нягтшилыг ихэсгэх өөрсдийн шинэ арга буюу нэмэлт гэрэл үүсгэгч, хаалт, линз матриц ашигласан аргыг санал болгож байна.

III. ӨНДӨР НЯГТШИЛТАЙ, НИМГЭН PLS ДЭЛГЭЦИЙН АРГА

A. Нягтшил ихэсгэх арга ба сул талууд

Зураг 2-д PLS дэлгэцийн нягтшилыг ихэсгэх аргыг үзүүлсэн байна. Тус арга нь нэмэлт гэрэл үүсгэгч $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -ийг линз матриц 1-ийн ард гэрэл үүсгэгчид хоорондоо $S (P'_L/2)$ зайд буюу линз матриц 1-ийн элементал линз бүрийн гол болон захад байрлуулна. Тухайн зай нь линз матриц 1-ийн элементал линзийн хэмжээнээс 2 дахин бага байна. Жишээ нь, Зураг 2-ийн нэмэлт гэрэл үүсгэгч LS_1, LS_2, LS_3 -г линз матриц 1-ийн ард байрлуулахдаа элементал линз $L_{1,1}$ -ийн голд нь гэрэл үүсгэгч LS_2 -г, хоёр захад нь гэрэл үүсгэгч LS_1, LS_3 -г байрлуулна. Нэмэлт гэрэл үүсгэгч $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -ээс цацарсан цацрагууд линз матриц 1-ийн элементал линз бүрээр нэвтрэн оптик гол тэнхлэг дагуу параллель цацраг

болон линз матриц 2-ыг нэвтрэн гарна. Линз матриц 2-ын элементал линз бүрээр нэвтрэн гарсан цацрагууд түүний ард цугалж цэгэн гэрэл үүсгэгч болно. Эдгээр цэгэн гэрэл үүсгэгчдийн хоорондох зай нь $P_L/3$ буюу Зураг 2-д үзүүлсэнээр линз матриц 2-ын элементал линзийн хэмжээнээс 3 дахин бага байна.



Зураг 2. Нягтшил ихэсгэх аргын геометр байгуулалт.

Энэ нь Зураг 1-д үзүүлсэн уламжлалт PLS дэлгэцийн цэгэн гэрэл үүсгэгч хоорондын зайнаас 3 дахин бага байгаагаас нягтшил 3 дахин ихэснэ. Үүнээс нягтшил нь дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$R = \left(\frac{3}{P_L} \right). \quad (2)$$

Зураг 2-ийн гэрэл үүсгэгч $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -ийн тусгалын өнцөг α , линз матриц 1-ийн фокусын урт f_1 нь дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$\alpha = \arctan \left(\frac{P_L}{3 \cdot f} \right). \quad (3)$$

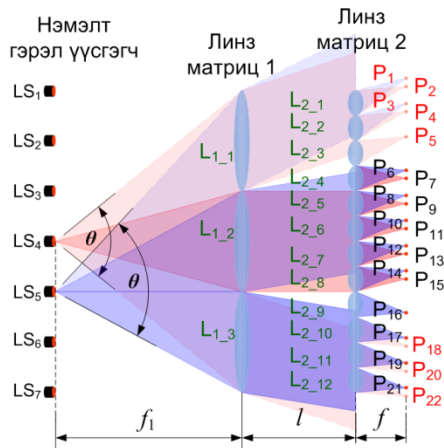
Үүнд: f – Линз матриц 1-ийн фокусын урт (мм – ээр хэмжигдэнэ). Уг өнцгийг ашиглаад нэмэлт гэрэл үүсгэгч $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ нь линз матриц 1-ийн хөрш хоёр элементал линзийн хооронд байна гээд фокусын уртыг олбол:

$$f_1 = \left(\frac{P'_L}{\tan \alpha} \right). \quad (4)$$

Үүнд: P'_L – линз матриц 2-ын элементал линзийн хэмжээ (мм – ээр хэмжигдэнэ). Зураг 1-ийн нэг гэрэл үүсгэгчтэй PLS дэлгэцэнд Зураг 3-д үзүүлсэнээр $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ гэсэн хоорондоо $S (P'_L/2)$ зайтай нэмэлт гэрэл үүсгэгчийг нэмж байрлуулсанаар PLS дэлгэцийн нягтшилыг 3 дахин сайжруулах боловч бодит амьдрал дээр гэрэл үүсгэгч LS_4 -ийг β өнцгөөр, гэрэл үүсгэгч LS_5 -ийг β_1 өнцгөөр тус тус цацруулах боломжгүй юм. Өөрөөр хэлбэл Зураг 2-д үзүүлсэнээр гэрэл нь β, β_1 өнцгөөр цацардаг гэрэл үүсгэгч $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -г олох хэцүү байдаг сул талтай. Ихэнх тохиолдолд ижил өнцгөөр цацардаг гэрэл үүсгэгч олдоц ихтэй, өргөн ашиглагддаг.

Жишээ нь, Зураг 3-д гэрэл үүсгэгч LS_4, LS_5 -г асааж, бусад гэрэл үүсгэгч $LS_1, LS_2, LS_3, LS_6, LS_7$ -г

унтраалттай буюу гэрэл үүсгэгч LS_4, LS_5 -ийн гэрэл нь ижил өнцгөөр цацардаг гэрэл үүсгэгч ашигласан гэж үзье. Үүнээс Зураг 3-д гэрэл үүсгэгч LS_4, LS_5 -ийн гэрэл адил θ өнцгөөр цацарна. Гэрэл үүсгэгч LS_4 -өөс цацарсан гэрэл линз матриц 1-ийн элементал линз $L_{1,1}, L_{1,3}$ -ээр цуглуулагдаж хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэгч болох $P_2, P_4, P_5, P_{18}, P_{20}, P_{22}$ -ыг үүсгэнэ. Гэрэл үүсгэгч LS_5 -аас цацарсан гэрэл линз матриц 1-ийн элементал линз $L_{1,1}$ -ээр цуглуулагдаж хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэгч болох P_1, P_3 -ыг үүсгэнэ.



Зураг 3. Хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэгчтэй PLS дэлгэцийн геометр байгуулалт.

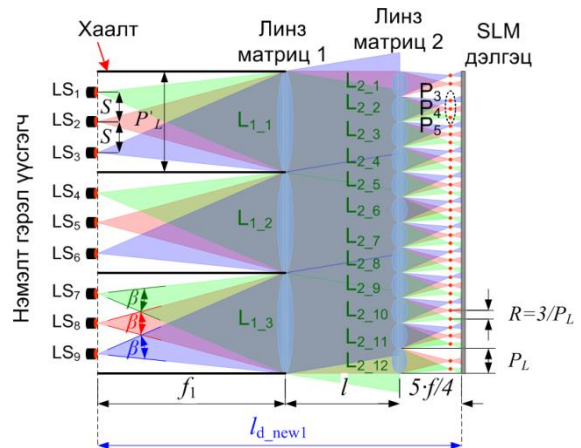
Зураг 2-д үзүүлсэн PLS дэлгэц нь нягтшилийг сайжруулж байгаа боловч Зураг 3-д үзүүлсэн шиг хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэдэг дутагдалтай талтай. Хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэхгүйн тулд нэмэлт гэрэл үүсгэгч $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -ийн гэрлийг хоорондоо ялгаатай өнцгөөр цацруулах шаардлагатай юм.

В. Дэвшүүлж буй өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийн арга

Зураг 4-д бидний дэвшүүлж буй аргын PLS дэлгэцийг хажуу талаас нь харуулсан байна. Тус шийдлийн PLS дэлгэц нь нэмэлтээр $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7, LS_8, LS_9$ гэрэл үүсгэгч буюу линз матриц 1-ийн элементал линз бүрийн ард 3×3 ширхэг нэмэлт гэрэл үүсгэгч, хаалт буюу чиглүүлэгч, дурын үзүүлэлттэй 2 ширхэг линз матриц, SLM дэлгэцээс бүрдэнэ. Линз матриц 1 нь нэмэлт гэрэл үүсгэгчээс гарсан гэрлийн цацрагыг элементал линз бүрийнхээ оптик гол тэнхлэг дагуу параллель чиглэлтэй цацраг болгох үүрэгтэй. Линз матриц 2 нь цэгэн гэрэл үүсгэгчийг үүсгэх үүрэгтэй. Жишээ нь, Зураг 4-д гэрэл үүсгэгч LS_1 -ээс гарсан цацрагууд, гэрэл үүсгэгч LS_2 -оос гарсан цацрагууд, гэрэл үүсгэгч LS_3 -аас гарсан цацрагууд линз матриц 1-ийн элементал линз $L_{1,1}$ -ээр нэвтрээд гэрэл үүсгэгч бүрийн тусгалын өнцөг дагуу параллель цацрагууд болон цааш тархана. Тус цацрагууд линз матриц 2-ын $L_{2,2}, \dots$ гэх мэт элементал линз бүрээр цуглуулагдаж P_3, P_4, P_5, \dots гэх мэт цэгэн гэрэл үүсгэгчийг үүсгэнэ. Хаалт нь Зураг 3-д үзүүлсэн шиг гэрэл үүсгэгч LS_4 -ийн гэрлийн цацрагыг линз матриц 1-ийн элементал линз $L_{1,1}, L_{1,3}$ -аар нэвтрүүлэхгүй, Зураг 2-д үзүүлсэн шиг Томъёо 3-аар тодорхойлогддог f_1 фокусын урттай линз матриц 1-ийг

заавал ашиглахгүй болгох үүрэгтэй. Мөн хаалт нь линз матриц 1-ийн элементал линз бүрийн ард байрлах гэрэл үүсгэгчийн гэрлийн цацрагыг чиглүүлэх үүрэгтэй. Өөрөөр хэлбэл хаалт ашигласнаар хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсэхгүй бөгөөд дурын гэрэл үүсгэгчийг ашиглах боломжтой юм.

Тус шийдэлд хаалтыг нэмж байрлуулсанаар дээр дурьдсан Томъёо 3-аар тодорхойлогдсон фокусын f_1 урттай линз матриц 1 байх албагүй болж, дурын хоёр ширхэг линз матриц ашиглах боломжтой болсон.



Зураг 4. Өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийн геометр байгуулалт, түүний нягтшиллын тооцоолол.

Зураг 4-д тус шийдлийн дэлгэцийн линз матриц 1-ийн элементал линзийн ард байрлах нэмэлт гэрэл үүсгэгч LS_1, LS_2 хоорондын зайг дараах томъёогоор илэрхийлнэ.

$$s = \left(\frac{P_L \cdot f_1}{3 \cdot f} \right). \tag{5}$$

Үүнд: f_1 – линз матриц 2-ын фокусын урт (мм – ээр хэмжигдэнэ). Зураг 4-өөс харахад нэмэлт гэрэл үүсгэгч LS_1, LS_2, LS_3 -аас цацрах параллель цацрагууд линз матриц 2-оор нэвтрээд фокусын урт f -д цугларч цааш цацрахдаа $f/4$ зайд давхцахгүй байна. Иймээс Зураг 4-д үзүүлсэнээр SLM дэлгэцийг линз матриц 2-оос $5 \cdot f/4$ зайд байрлуулна. Үүнээс бидний дэвшүүлж буй шинэ аргаар PLS дэлгэц нь илүү нимгэрч l_{d_new1} зайтай болж, өөр өөр өнцгөөр цацардаг гэрэл үүсгэгч шаардлагагүй, дурын 2 линз матриц ашиглах боломжтой бөгөөд хямд өртөгтэй, өндөр нягтшилтай, томоор хийж болох зэрэг давуу талуудтай болсон.

IV. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

Туршилтанд ашигласан элементүүдийн параметруудийг Хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Бид Зураг 4-д үзүүлсэн тус шийдлийн дэлгэцээс нэмэлт гэрэл үүсгэгч LS_1, LS_2, LS_3 -тэй, линз матриц 1-ийн элементал линз $L_{1,1}$ -тэй, линз матриц 2-той хэсгийн туршилт хийсэн. Лабораторийн орчинд угсарсан PLS дэлгэцийг Зураг 5-д үзүүлсэн байна.

Өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийг угсрахдаа эхлээд линз матриц 1-ийн элементал линз $L_{1,1}$ -ийн фокусын урт f_1 -д $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7, LS_8, LS_9$ гэсэн 3×3 нэмэлт гэрэл үүсгэгчийг байрлуулан

голын гэрэл үүсгэгч LS_5 -ийг асаагаад оптик гол тэнхлэгтэй параллель цацраг болж буйг туршсан. Дараа нь линз матриц 1-ийн ард линз матриц 2-ийг байрлуулсан.

Линз матриц 2-ын фокусын урт f -д сарниулагч байрлуулан эгц урдаас нь камераар авсныг Зураг 6(а)-д үзүүлсэн байна. Энэ нь уламжлалт нэг гэрэл үүсгэгчтэй PLS дэлгэцийн цэгэн гэрлийн туршилт ба цэгэн гэрэл хоорондын зай нь $P_L = 1$ мм байна.

ХҮСНЭГТ 1 ТУРШИЛТЫН ПАРАМЕТРУУД

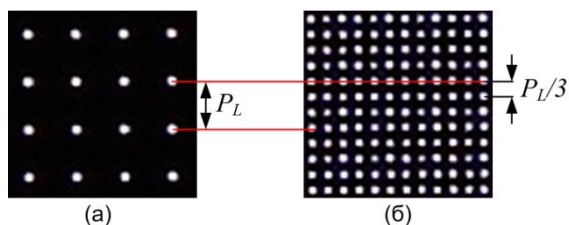
	Зориулалт	Үзүүлэлт
1	Гэрэл үүсгэгч буюу Surface-Mount Device Light-Emitting Diode (SMD LED)-ний хэмжээ	1.25 мм (Б) × 2 мм (Х)
2	Линз матриц 1-ийн элементал линзийн тоо	1 (Б) × 1 (Х)
3	Линз матриц 1-ийн хэмжээ	50.8 мм (Б) × 50.8 мм (Х)
4	Линз матриц 1-ийн фокусын урт	61.8 мм
5	Линз матриц 2-ын элементал линзийн тоо	50 (Б) × 50 (Х)
6	Линз матриц 2-ын хэмжээ	1 мм (Б) × 1 мм (Х)
7	Линз матриц 2-ын фокусын урт	3.3 мм
8	Линз матриц 2-аас SLM дэлгэц хүртэлх зай	4.125 мм
9	SLM дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ	0.036 мм
10	SLM дэлгэцийн цэгийн тоо	768 (Б) × 1024 (Х)
11	SLM дэлгэцийн хэмжээ	27 мм (Б) × 36 мм (Х)

Энэ хэмжээ нь линз матриц 2-ийн элементал линзийн хэмжээ юм.



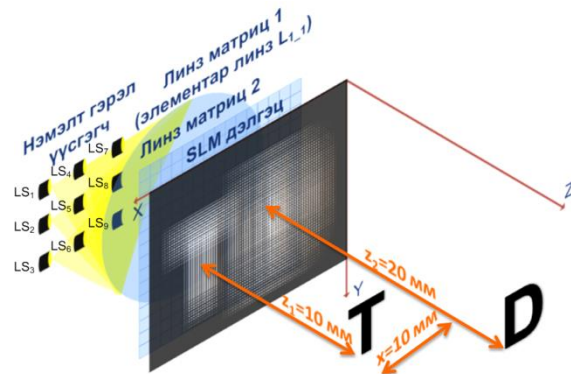
Зураг 5. Лабораторийн орчинд угсарсан өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэц.

Тухайн тохируулсан байрлалыг өөрчлөхгүйгээр бусад гэрэл үүсгэгч $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_6, LS_7, LS_8, LS_9$ -ийг асааж эгц урдаас нь камераар авсныг Зураг 6(б)-д үзүүлсэн байна. Үүнээс бидний дэвшүүлж буй арга нь цэгэн гэрэл үүсгэгч хоорондын зайг 3 дахин багасгаж байна.



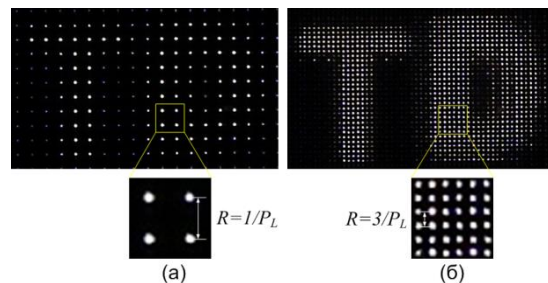
Зураг 6. Цэгэн гэрэл үүсгэгчийн туршилт. (а) нэг гэрэл үүсгэгчтэй уламжлалт арга, (б) нэмэлт гэрэл үүсгэгчтэй шинэ арга.

Линз матриц 2-оос нэмэлт гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд хоорондоо давхцахгүй байрлал болох Хүснэгт 1-ийн үзүүлэлтээр $5 \cdot f/4 = 4.125$ мм зайд SLM дэлгэцийг байрлуулах ёстой. Туршилтаар линз матриц 2-оос 4.1 мм зайд сарниулагчгч байрлуулахад нэмэлт гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд хоорондоо давхцахгүй байсан. Түүнээс хол зайд сарниулагчгч байрлуулахад нэмэлт гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд хоорондоо давхцсан.



Зураг 7. Өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийн туршилтын геометр байгуулалт.

Тиймээс бид линз матриц 2-оос 4.1 мм зайд SLM дэлгэцээ байрлуулан Зураг 7-д үзүүлсэнээр SLM дэлгэцээс Z тэнхлэг дагуу 10 мм, 20 мм зайд, хоорондоо 10 мм зайтай “Т”, “D” гэсэн 3-D дүрс үүсгэхээр элементал зургийг үүсгэсэн. Зураг 7-д үзүүлсэн шиг элементал зургаа SLM дэлгэцдээ гаргаад, үүссэн 3-D дүрсээ эгц урдаас нь камераар авсныг Зураг 8-д үзүүлсэн байна. Зураг 8(а)-д LS_5 гэрэл үүсгэгчийг асаасан үеийн 3-D дүрсийн зургийг үзүүлсэн байна. Энэ нь уламжлалт PLS дэлгэцийн туршилт ба бидний ашигласан линз матриц 2-ын элементал линзийн хэмжээ 1 мм гээд нягтшил нь 1 байна.



Зураг 8. PLS дэлгэцийн туршилт (а) уламжлалт арга, (б) бидний дэвшүүлж буй арга.

Зураг 8(б)-д бидний дэвшүүлж буй аргын туршилт ба PLS дэлгэцийн нягтшил нь 3 болсон ба уламжлалт PLS дэлгэцийн нягтшилийг 3 дахин ихэсгэж байна.

ДҮГНЭЛТ

Бидний дэвшүүлж буй аргад гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагыг параллель болгох үүрэгтэй, фокусын урт ихтэй, том хэмжээтэй цуглуулагч линзийн оронд линз матриц ашигласнаар дэлгэц нимгэрч, томоор хийх боломжтой болсон. Нэмэлт гэрэл үүсгэгчийг линз матриц 1-ийн ард хоорондоо $S=P'_L \cdot f_1/3 \cdot f$ зайтайгаар байрлуулсанаар линз матриц 2 ын элементал линз бүр нь хоорондоо $P_L/3$ зайтай, 3 ширхэг цэгэн гэрэл үүсгэж байгаа бөгөөд нягтшилийг 3 дахин ихэсгэсэж байна. Бидний дэвшүүлж буй аргад дурын үзүүлэлттэй 2 ширхэг линз матриц ашиглах боломжтой гэсэн боловч туршилт хийхдээ Монголд худалдаалагдаж буй хамгийн жижиг хэмжээтэй гэрлэн диодыг (SMD LED) гэрэл үүсгэгч болгон ашигласан ба үүний хэмжээ нь бидэнд байгаа 2 ширхэг линз матрицаар туршилт хийхэд тохиромжгүй байсан тул линз матриц 1-ийн зөвхөн нэг элементал линзийн хувьд туршилт хийсэн. Энэ туршилт нь тус шийдлийн дэлгэцийг томоор хийхэд үр дүн нь адилхан юм. Хаалт нь хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэхгүй байх үүрэгтэй ба линз матриц 1-ийн хувьд зөвхөн нэг элементал линз ашигласан учир хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсэхгүй болж хаалтгүй туршилт хийсэн. Бид 3×3 ширхэг нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашиглан нягтшилийг 3 дахин ихэсгэдэг шинэ аргаар туршилт хийсэн ба энэ мэтчилэн $n \times n$ ширхэг нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашиглан нягтшилийг n дахин ихэсгэх боломжтой юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] T.-C. Poon, *Digital Holography and Three-Dimensional Display*. New York: Springer, 2006.
- [2] M. M. Halle, "Autostereoscopic displays and computer graphics," *Computer Graphic, ACM Siggraph*, vol. 31, no. 2, pp 58–62, 1997.
- [3] Knut Langhans, Daniel Bezecky, Dennis Homann, Detlef Bahr, Carsten Vogt, Christian Blohm, Karl-Heinz Scharschmidt, "New portable FELIX 3D display," *Proc. SPIE 3296*, pp. 204, 1998.
- [4] G. Lippmann, "La Photographie Integrale," *Comptes-Rendus Academie des Sciences*, vol. 146, pp. 446, 1908.
- [5] J. -H. Park, J. Kim, J.- P. Bae, Y. Kim, and B. Lee, "Viewing Angle Enhancement of Three-Dimension/TwoDimension Convertible Integral Imaging Display Using Double Collimated or Noncollimated Illumination," *Jpn. J. Appl. Phys*, vol. 44, pp. 991-994, 2005. J.-H. Park, S. -W. Min, S. Jung, and B. Lee, "Analysis of viewing parameters for two display methods based on integral photography," *Appl. Opt*, vol. 40, pp. 5217-5232, 2001.
- [6] S. -W. Min, B. Javidi, and B. Lee, "Enhanced three-dimensional integral imaging system by use of double display devices," *Appl. Opt*, vol. 42, pp. 4186-4195, 2003.
- [7] H. Choi, J.-H. Park, J. Kim, S.-W. Cho, and B. Lee, "Wide-viewing-angle 3D/2D convertible display system using two display devices and a lens array," *Opt. Express*, vol. 13, pp. 8424-8432, 2005.
- [8] J.-H. Park, H.-R. Kim, Y. Kim, J. Kim, J. Hong, S.-D. Lee, and B. Lee, "Depth-enhanced three-dimensional-two-dimensional convertible display based on modified integral imaging," *Opt. Lett*, vol. 29, pp. 2734-2736, 2004.
- [9] H. Choi, S.-W. Cho, J. Kim, and B. Lee, "A thin 3D-2D convertible integral imaging system using a pinhole array on a polarizer," *Opt. Express*, vol. 14, pp. 5183-5190, 2006.
- [10] Ashraful Alam, Ganbat Baasantseren, Munkh-Uchral Erdenebat, Nam Kim S, and Jae-Hyeung Park "Resolution Enhancement of Integral Imaging Three-Dimensional Display Using Multi-Directional Elemental Images," *Journal of the Society for Information Display*, vol. 20(4), pp. 175–234, 2012.
- [11] H. Choi, S. -W. Min, S. Jung, J. -H. Park, and B. Lee, "Multipleviewing-zone integral imaging using a dynamic barrier array for threedimensional displays," *Appl. Opt*, vol. 11, pp. 927-932. 2003.
- [12] Yunhee Kim, Joohwan Kim, Jin-Mo Kang, Jae-Hyun Jung, Heejin Choi, and Byoungho Lee, "Point light source integral imaging with improved resolution and viewing angle by the use of electrically movable pinhole array," *Opt. Express*, vol. 15, pp. 18253-18267, 2007.
- [13] Jae-Hyeung Park, Joohwan Kim, Yunhee Kim and Byoungho Lee, "Resolution-enhanced three-dimension / two-dimension convertible display based on integral imaging," *Opt. Express*, vol. 13, pp. 1875-1884, 2005.