



ШУТИС

МОНГОЛ УЛСЫН  
МЭДЭЭ АХУЙН  
УНДГАЙН ГЭМЭЭГ  
УНДГАЙН ГЭМЭЭГ

Чөлөөт орон зайн оптик холбооны хэрэглээ ба  
Монгол орны цаг агаарын нөхцөлд FSO тархалтын  
судалгааны зарим үр дүн

Applications of free space optical (FSO) communication  
and some results of FSO propagation in Mongolian climate  
condition

ШУТИС- МХТС- Холбооны салбар

Дэд профессор Ш.Ганболд, Ахлах багш Д.Долгорсүрэн



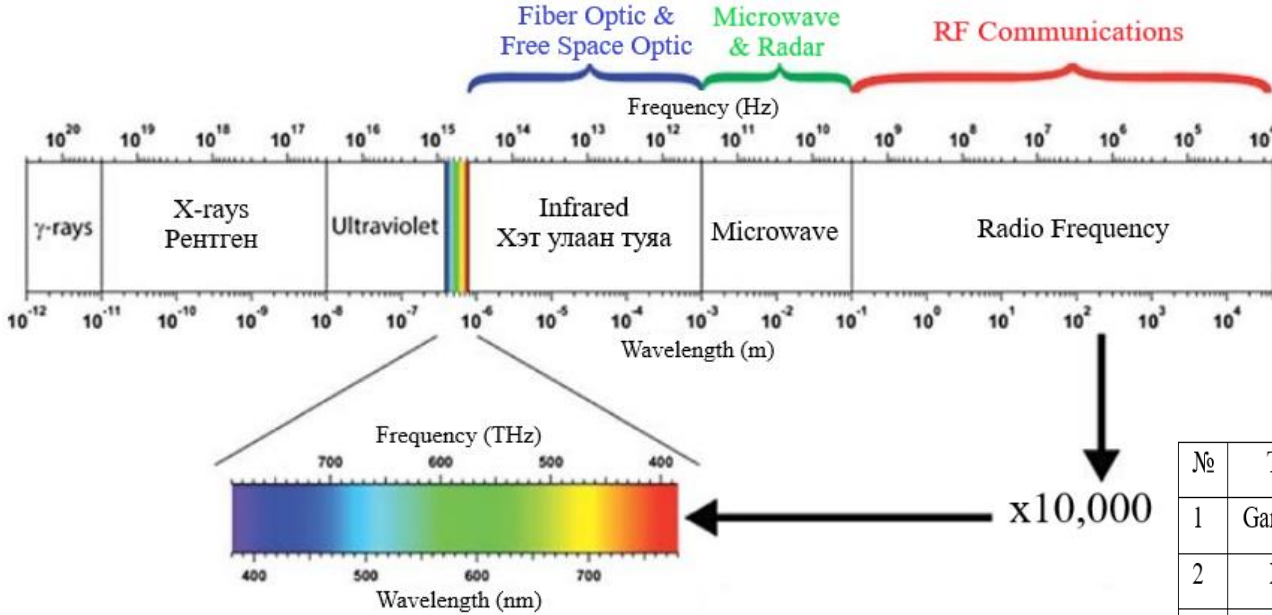
# Агуулга



- ЦСД-ны зурвас хуваарилалт
- FSO систем
- Давуу тал/ сул талууд
- FSO системийн 5G хэрэглээ
- FSO тархалтын судалгааны зарим үр дүнгүүд
- Дүгнэлт



# ЦСД-ны зурвас хуваарилалт



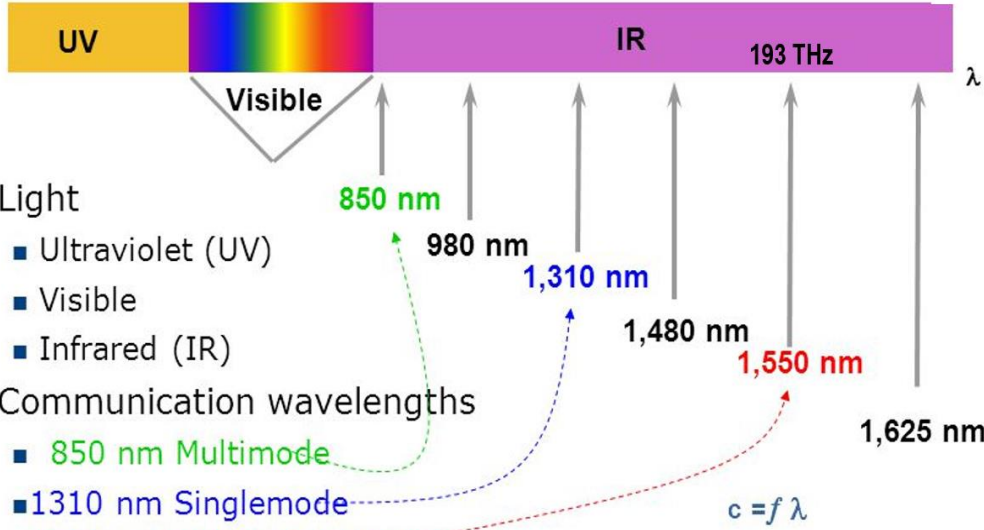
№	Төрөл	Долгионы урт	Давтамж [Hz]
1	Gamma ray	less than 0.01nm	more than 30EHz
2	X-ray	0.01nm – 10nm	30EHz – 30PHz
3	Ultraviolet	10nm – 400nm	30PHz – 790THz
4	Visible	400nm–700nm	790THz – 430THz
5	Infrared	700nm – 1mm	430THz – 300GHz
6	Microwave	1mm – 1meter	300GHz – 300MHz
7	Radio	1m – 100,000km	3Hz – 300GHz

Холбооны салбар

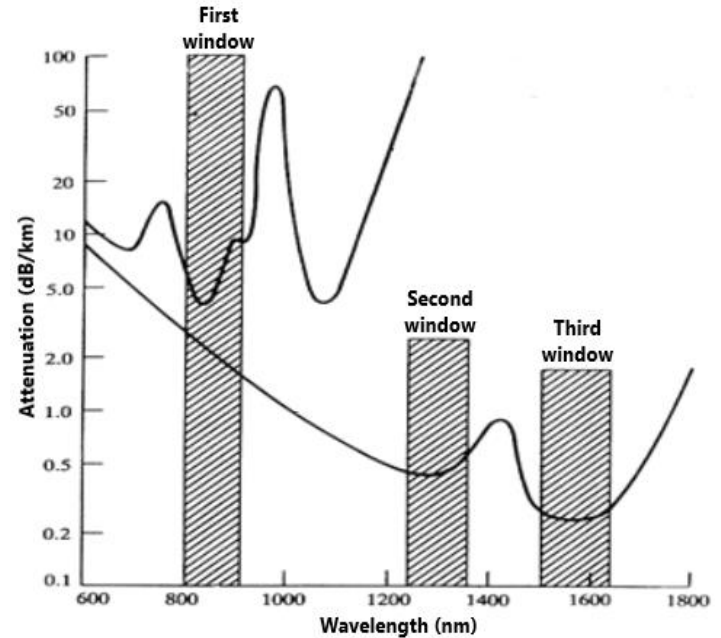
МОНГОЛЫН УЛСЫН  
ХАМГААГАХ, ГЭРЧИЙН  
ЭРХЭМ ХАМГААГАХ  
МОНГОЛЫН УЛСЫН



# Оптик холбооны зурвас хуваарилалт



- Light
  - Ultraviolet (UV)
  - Visible
  - Infrared (IR)
- Communication wavelengths
  - 850 nm Multimode
  - 1310 nm Singlemode
  - 1550 nm DWDM & CWDM



Холбооны салбар

МОНГОЛ УЛСЫН  
ХАМГААГАХ, ГЭРЧИЙН  
ЭРХЭМ ХАМГААГАХ  
МОНГОЛ УЛСЫН  
ХАМГААГАХ, ГЭРЧИЙН  
ЭРХЭМ ХАМГААГАХ



## Оптик утасгүй холбоо



- Чөлөөт орон зайн оптик холбоо (FSO) нь харилцаа холбооны болон компьютерийн сүлжээнд утасгүйгээр өгөгдөл дамжуулахад зориулагдсан чөлөөт орон зайд оптик давтамжтай гэрлийн долгионы тархалтыг ашигладаг оптик холбооны технологи юм.
- "Чөлөөт орон зай" гэдэг нь гадаад орчин буюу агаар мандал, сансар огторгуй, вакуум орчин байна. Агаар мандлаар харилцаа холбооны мэдээллийг дамжуулахын тулд модуляцлагдсан оптик (хэт улаан, үзэгдэх гэрлийн) цацрагийг ашигладаг.



## FSO холбооны давуу талууд



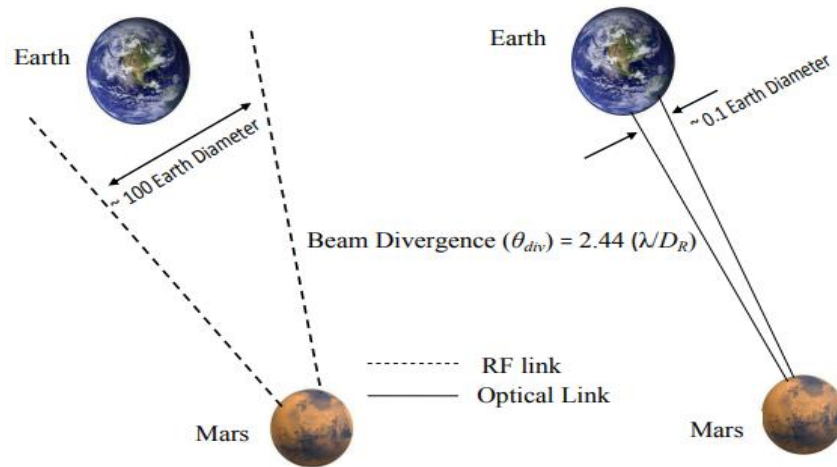
- ✓ Модуляцийн зурвасын өргөн их: Зөөгч давтамж ихсэх нь холбооны системийн мэдээлэл дамжуулах чадварыг нэмэгдүүлдэг.
- ✓ RF болон хэт богино долгионы холбооны системд зөвшөөрөгдөх хамгийн их зурвасын өргөн нь зөөгч давтамжийн 20% хүртэл байж болдог.
- ✓ Оптик холбооны хувьд зөвшөөрөгдөх зурвасын өргөн нь зөөгч давтамжийн 1% ( $\approx 10^{16}$  Гц) буюу 100 ТГц байна. Энэ нь хэрэглэгдэх зурвасын өргөний хувьд ердийн RF зөөгчтэй харьцуулахад бараг  $10^5$  дахин их юм.

Угтчилсан судалгаа ба мэдээлэл



# FSO холбооны давуу талууд

- Бага цацрагын өргөсөлт: Цацрагийн өргөсөлт нь  $\lambda/D_R$  –тэй шууд хамааралтай байна,  $\lambda$  нь зөөгч долгионы урт ба  $D_R$  нь апертурын диаметр юм.
- Оптик зөөгчийн цацрагийн өргөсөлт нь RF-ийн зөөгчөөс бага байдаг. Энэ нь дамжуулсан энергийг хүлээн авагч дээр авах дохионы эрчмийг (энерги) ихэсгэдэг.



Улаанбаатар хотноо байрладаг ШУТИС-ийн Холбооны салбар



# FSO холбооны давуу талууд



- Бага чадлын, хэмжээ болон жин багатай: Оптик эрчим нь хүлээн авагч дээр илүү ирдэг учраас оптик зөөгчийн долгионы урт бага байх нь RF-ээс жижиг антентай байх боломжийг олгодог.
- Оптик системийн антенны ердийн хэмжээ нь 30см-ээс 1.5м хүртэл байна. Хүснэгтэд оптик ба Ка зурвасын системүүдийн хувьд 10Вт ба 50Вт чадал хэрэглэдэг системүүдийн хоорондох чадал, массын харьцуулалт (2.5Гбит/сек үед)

№	Төрөл	Оптик	RF
GEO-LEO	диаметр	10.2см	2.2м
	масс	65.3кг	152.8кг
	чадал	93.8Вт	213.9Вт
GEO-GEO	диаметр	13.5см	2.1м
	масс	86.4кг	145.8кг
	чадал	124.2Вт	204.2Вт
LEO-LEO	диаметр	3.6см	0.8м
	масс	23.0кг	55.6кг
	чадал	33.1Вт	77.8Вт

ᠰᠤᠲᠢᠰ ᠬᠣᠯᠪᠤᠭᠠᠨ ᠳᠠᠪᠤᠭᠠ ᠲᠠᠯᠤᠭᠤᠳᠤ





# FSO холбооны давуу талууд



- Спектрийн багтаамж маш өргөн: RF системд зэргэлдээ зөөгчийн харилцан нөлөөлөөс болж спектрийн давхцал, төвлөрөл үүсдэг асуудалтай. Энэ нь ХХЗХ-ноос спектрийн/давтамжийн тусгай зөвшөөрөл авах шаардлагатай байдаг.
- Өндөр нууцлал: FSO нь маш нарийн зурвасын өргөсөлттэй лазер цацраг ялгаруулдаг тул спектр анализатор эсвэл RF давтамжаар илрүүлэх боломжгүй. Хөндлөнгөөс оролцох, нөлөөлөх асуудалд хаалттай.
- Хялбар, хурдан суурилуулах
- Шилэн кабельд гэмтэл гарсан тохиолдолд түр болон байнгын, эсвэл нөөц зөөврийн байдлаар ашиглах
- Гамшиг гарсан байршилд харилцаа холбооны үйлчилгээг сэргээх

Урьдчилсан судалгаа, төлөвлөгөө, зөвлөмж, хяналт, үнэлгээ, хяналт, үнэлгээ, хяналт, үнэлгээ



# FSO холбооны дутагдалтай талууд



- Дамжуулагч ба хүлээн авагч нь 1 шугаманд чиглүүлэгдсэн, бие биенийгээ шууд харах (line-of-sight) зайд байх ёстой.
- Атмосферийн нөхцөлүүд: цас, бороо, манан, агаарын хуйлрал, агаарын бохирдол (air pollution), үзэгдэх орчин г.м
- FSO холбоог ашиглах боломж маш их байгаа хэдий ч түүний дамжуулал нь агаар мандлын сөрөг нөлөө болох шингээлт, сарнилт, агаарын хуйлрал, хур тунадасны нөлөөгөөр хязгаарлагддаг.
- Өндөр барилгад суурилуулсан бол савлагаа үүсэх
- Эдгээр нөлөөнөөс атмосферийн дамжуулал нь тогтворгүй, системийн алдааны түвшин (BER) маш бага болж, найдваржилт буурах эрсдэлтэй байдаг.

Урьдчилсан судалгаа



# FSO холбооны хэрэглээ



Утасгүй холбооны мэдээллийн зурвасын хэрэгцээ, шаардлагын хурдацтай өсөлтөөс болж ашиглаж байгаа цахилгаан соронзон дамжууллаас өндөр давтамжийн гэрлийн дамжуулалд шилжиж байна.

## Хэрэглээний хүрээ:

- цэргийн, хиймэл дагуул,
- гамшгийн үеийн, хөдөлгөөнт холбоо,
- үүр хоорондын холбох шугам (backhaul),
- утасгүй өргөн нэвтрүүлэг,
- хэрэглэгч/ хандалтын сүлжээ (last mile),
- өндөр хурдны интернет, видео хурал, шууд дамжуулалт.
- хөдөлгөөнт сүлжээний хамрах хүрээг ихэсгэх, өргөтгөл хийх
- дэд үүрийн(micro & remto cell) хэсгүүд, дэд үүр болон донор бааз станц хооронд оптик утасгүй холболт хийх.

Утасгүй холбооны мэдээллийн зурвасын хэрэгцээ, шаардлагын хурдацтай өсөлтөөс болж ашиглаж байгаа цахилгаан соронзон дамжууллаас өндөр давтамжийн гэрлийн дамжуулалд шилжиж байна.



## FSO технологийн хэрэглээ - 5G



Хөдөлгөөнт сүлжээний хувьд үүрний захын хэсэгт байгаа хэрэглэгчид болон үндсэн бааз станц хоорондын зай хол байдгаас утасгүй үйлчилгээ тогтвортой биш байх асуудалтай байдаг.

LTE-A сүлжээний үүрийг жижиг үүрүүдэд (relay station- RS) хуваан энэ асуудлыг шийдэж боломжтой. Энд дараах хоёр холболтыг ашиглан хэрэглэгчдийн тоо, нэвтрүүлэх чадварыг нэмэгдүүлнэ.

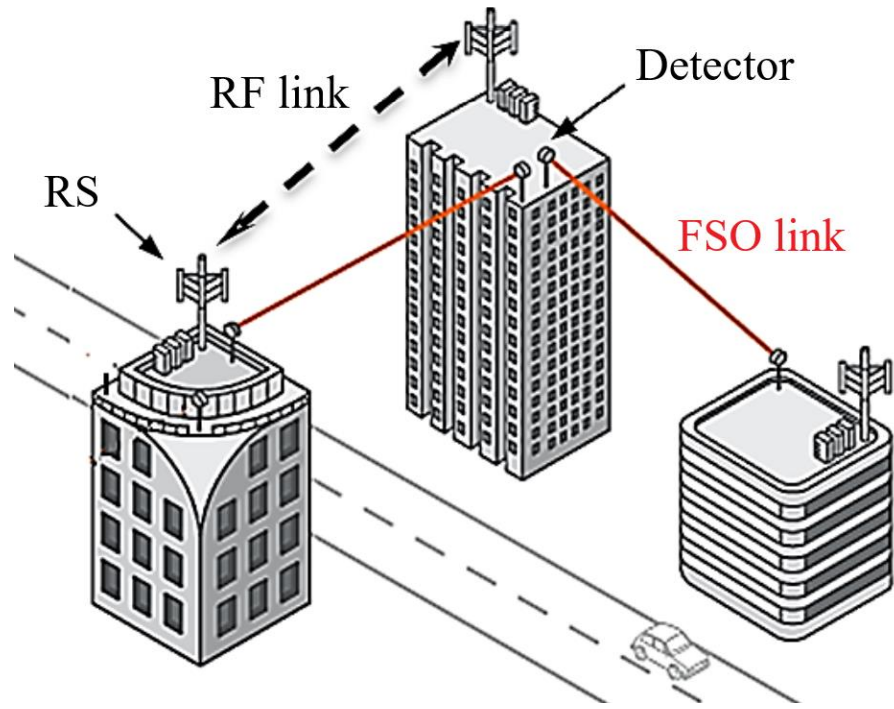
Эхнийх нь тархмал RS-ийн хоорондох FSO шугамууд, хоёр дахь нь үндсэн/уламжлалт eNB(evolved Node B) ба RS-ийн хоорондох радио шугам (RL) юм.

Улаанбаатар, 2024.09.10



ШУТИС-ийн Урьдчилсан Судалгааны Төвийн 2024-2025 Огноо

# FSO технологийн хэрэглээ- 5G



**FSO backhaul link- FSO холбох шугам**

SNR болон үйлчилгээний тасалдлын судалгаан дээр үндэслэн 5G үүрэн холбооны сүлжээн дэх хамрах хүрээг нэмэгдүүлэхтэй холбоотой интерференцийг бууруулахын тулд RS-ийн байршлыг математикийн арга ашиглан тодорхойлно.

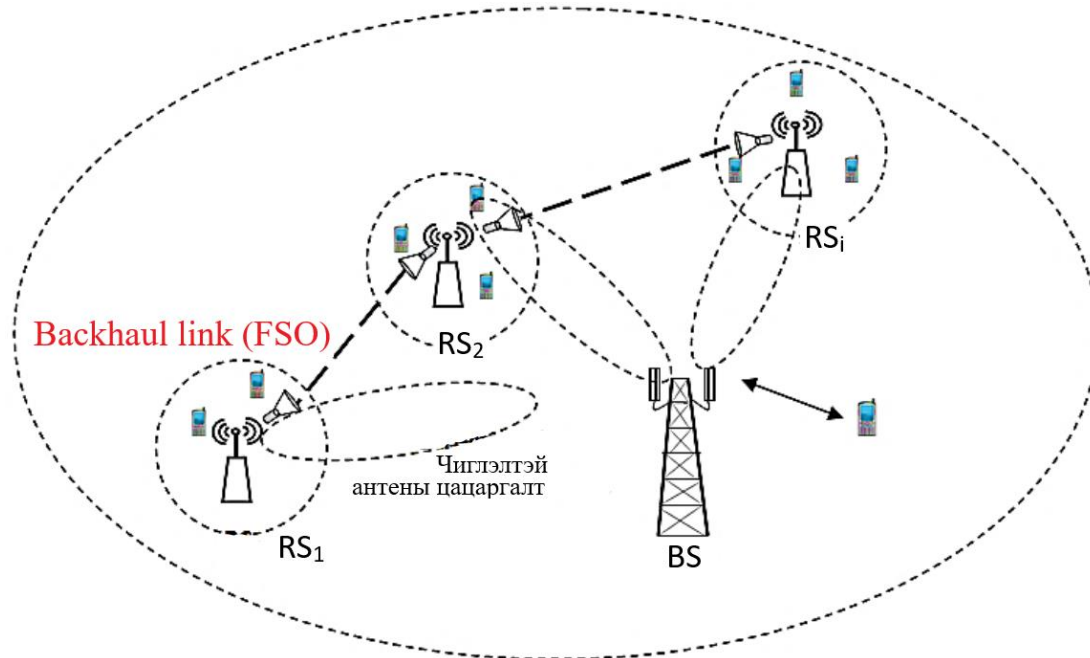
Туршилтаар, сонгосон байршилд RS-ийг байрлуулснаар хүлээн авсан дохиог -84.2дБм-ээс 67.7дБм хүртэл өсгөсөн; мөн **FSO шугамыг** RL-тэй хамтарсан байдлаар ашигласнаар хүлээн авсан чадал -30дБм-ээс 0дБм хүртэл нэмэгдсэн байна.



# FSO ашигласан 5G сүлжээний загвар



RS-ийг үндсэн үүрэн захын бүсэд байрлуулах нь FSO-ийн хамрах хүрээг өргөжүүлэх, системийн гүйцэтгэлийг сайжруулах, мөн **FSO** болон RF шугамуудыг хослуулан ашигласнаар 2 технологийн дутагдалтай талуудыг нөхөх үр дүнтэй шийдэл юм.



Холбооны салбар

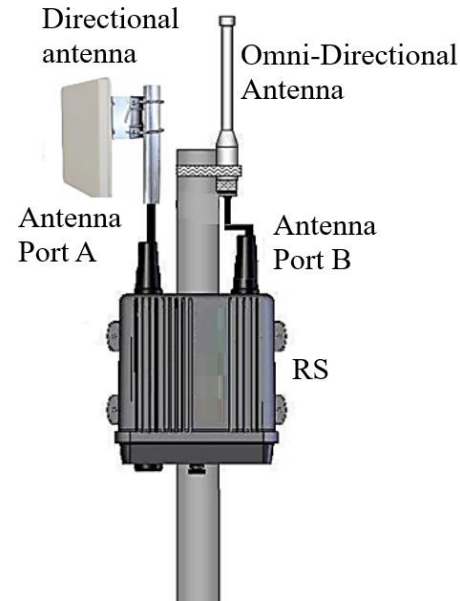
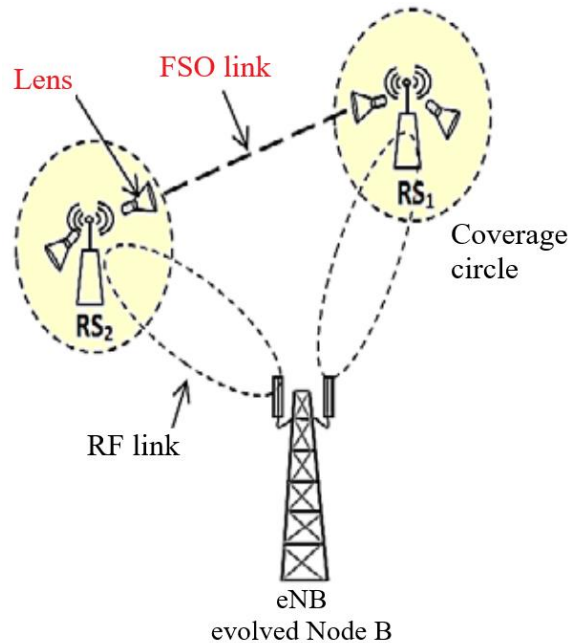
Улаанбаатар хот, ШУТИС-ийн 100 жилийн ойгоор



# FSO технологийн хэрэглээ- 5G



Хамгийн их хүрээг хамрах, дамжуулах шугамын хурдыг нэмэгдүүлэх, баз станц хоорондын харилцан нөлөөллийг багасгахын тулд RS-ийн хамгийн сайн байршлыг тодорхойлж мөн гэмтэл гарсан тохиолдолд нөөц сүлжээ байдлаар ашиглах боломжтой.



Холбооны салбар

Улаанбаатар хотноо байрладаг ШУТИС-ийн 5G технологийн хэрэглээг судалж, үнэмлэхүйгээр илэрхийлж байна.



# FSO тархалтын судалгааны зарим үр дүнгүүд



## Судалгааны зорилго:

1. Цаг агаарын радарууд болон ИНЕГ-ын харъяа Холбоо Навигацийн Ажиглалтын Албаны цаг уурын станцийн серверийн техник өгөгдлүүдэд тулгуурлан Улаанбаатар хотын агаарын болон хур тунадасны судалгааг хийх
2. Монгол орны нөхцөлд атмосферийн дамжуулалд борооны нөлөөгөөр оптик давтамжтай гэрлийн долгионд үүсэх унтралт тооцоолох загвар шинээр гаргах
3. Улаанбаатар хотын нөхцөлд атмосферийн давхаргад борооны нөлөөгөөр оптик давтамжтай гэрлийн долгион тархахад үзүүлэх унтралтыг тооцоолж FSO системийн найдвартай ажиллагааны түвшинг тогтоох, симуляцийн (OptiSystem) үр дүнгээр баталгаажуулах

Улаанбаатар хотын цаг агаарын судалгаа





# FSO тархалтын судалгааны зарим үр дүнгүүд



## Судалгааны ач холбогдол:

- Монгол улсад чөлөөт орон зайн оптик холбоог нэвтрүүлэхийн тулд цаг агаарын ямар ч нөхцөлд ажиллаж чадах норм, стандартыг тогтоох, түүний ажиллах зайг оновчтой сонгох, ингэснээр атмосферийн давхаргаар дамжих оптик холбооны системийн найдвартай ажиллагааны түвшинг олон улсын стандарт түвшинд хүргэхэд энэхүү судалгааны ажлын үр дүн ач холбогдолтой.

ШУТИС-ийн судалгааны үр дүнгүүд



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ  
СУ РЕСУРСЫ ЖӘНЕ ИРРИГАЦИЯ МИНИСТРЛІГІ

# Өгөгдөл (row data) - ИНЕГ



View - RAIN\_M520\_SITE\_14\_06.his

File Edit View Help

History file						
CREATEDATE	SITE	INSTANT RAIN (MM)	1H RAIN (MM)	2H RAIN (MM)		
2019-08-06 00:00:00	14	0.00	3.40	5.80	7.00	45.40
2019-08-06 00:01:00	14	0.00	3.40	5.80	7.00	45.40
2019-08-06 00:02:00	14	0.20	3.60	6.00	7.20	45.60
2019-08-06 00:03:00	14	0.00	0.00	0.00	7.20	45.60
2019-08-06 00:04:00	14	0.00	0.00	0.00	7.20	45.60
2019-08-06 00:05:00	14	0.20	0.20	0.20	7.40	45.80
2019-08-06 00:06:00	14	0.00	0.20	0.20	7.40	45.80
2019-08-06 00:07:00	14	0.20	0.40	0.40	7.60	46.00
2019-08-06 00:08:00	14	0.00	0.40	0.40	7.60	46.00
2019-08-06 00:09:00	14	0.40	0.80	0.80	8.00	46.40
2019-08-06 00:10:00	14	0.20	1.00	1.00	8.20	46.60
2019-08-06 00:11:00	14	0.20	1.20	1.20	8.40	46.80
2019-08-06 00:12:00	14	0.20	1.40	1.40	8.60	47.00
2019-08-06 00:13:00	14	0.40	1.80	1.80	9.00	47.40
2019-08-06 00:14:00	14	0.20	2.00	2.00	9.20	47.60
2019-08-06 00:15:00	14	0.20	2.20	2.20	9.40	47.80
2019-08-06 00:16:00	14	0.00	2.20	2.20	9.40	47.80
2019-08-06 00:17:00	14	0.20	2.40	2.40	9.60	48.00
2019-08-06 00:18:00	14	0.00	2.40	2.40	9.60	48.00
2019-08-06 00:19:00	14	0.20	2.60	2.60	9.80	48.20
2019-08-06 00:20:00	14	0.20	2.80	2.80	10.00	48.40
2019-08-06 00:21:00	14	0.00	2.80	2.80	10.00	48.40
2019-08-06 00:22:00	14	0.20	3.00	3.00	10.20	48.60
2019-08-06 00:23:00	14	0.20	3.20	3.20	10.40	48.80
2019-08-06 00:24:00	14	0.20	3.40	3.40	10.60	49.00
2019-08-06 00:25:00	14	0.40	3.80	3.80	11.00	49.40
2019-08-06 00:26:00	14	0.20	4.00	4.00	11.20	49.60
2019-08-06 00:27:00	14	0.20	4.20	4.20	11.40	49.80
2019-08-06 00:28:00	14	0.40	4.60	4.60	11.80	50.20
2019-08-06 00:29:00	14	0.20	4.80	4.80	12.00	50.40
2019-08-06 00:30:00	14	0.20	5.00	5.00	12.20	50.60
2019-08-06 00:31:00	14	0.20	5.20	5.20	12.40	50.80
2019-08-06 00:32:00	14	0.00	5.20	5.20	12.40	50.80
2019-08-06 00:33:00	14	0.20	5.40	5.40	12.60	51.00
2019-08-06 00:34:00	14	0.20	5.60	5.60	12.80	51.20
2019-08-06 00:35:00	14	0.00	5.60	5.60	12.80	51.20
2019-08-06 00:36:00	14	0.20	5.80	5.80	13.00	51.40
2019-08-06 00:37:00	14	0.20	6.00	6.00	13.20	51.60
2019-08-06 00:38:00	14	0.00	6.00	6.00	13.20	51.60
2019-08-06 00:39:00	14	0.20	6.20	6.20	13.40	51.80
2019-08-06 00:40:00	14	0.20	6.40	6.40	13.60	52.00
2019-08-06 00:41:00	14	0.00	6.40	6.40	13.60	52.00
2019-08-06 00:42:00	14	0.20	6.60	6.60	13.80	52.20
2019-08-06 00:43:00	14	0.20	6.80	6.80	14.00	52.40
2019-08-06 00:44:00	14	0.00	6.80	6.80	14.00	52.40
2019-08-06 00:45:00	14	0.20	7.00	7.00	14.20	52.60

View - RAIN\_M520\_SITE\_14\_15.his

File Edit View Help

History file						
CREATEDATE	SITE	INSTANT RAIN (MM)	1H RAIN (MM)	2H RAIN (MM)		
2019-08-15 00:00:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:01:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:02:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:03:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:04:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:05:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:06:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:07:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:08:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:09:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:10:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:11:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:12:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:13:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:14:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:15:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:16:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:17:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:18:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:19:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:20:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:21:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:22:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:23:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:24:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:25:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:26:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:27:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:28:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:29:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:30:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:31:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:32:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:33:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:34:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:35:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:36:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:37:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:38:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:39:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:40:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:41:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:42:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:43:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:44:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80
2019-08-15 00:45:00	14	0.00	0.00	0.00	0.20	2.80

View - RAIN\_M520\_SITE\_14\_19.his

File Edit View Help

History file						
CREATEDATE	SITE	INSTANT RAIN (MM)	1H RAIN (MM)	2H RAIN (MM)		
2019-08-19 00:00:00	14	0.00	0.60	1.00	2.80	2.80
2019-08-19 00:01:00	14	0.00	0.60	1.00	2.80	2.80
2019-08-19 00:02:00	14	0.00	0.60	1.00	2.80	2.80
2019-08-19 00:03:00	14	0.00	0.00	0.00	2.80	2.80
2019-08-19 00:04:00	14	0.20	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:05:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:06:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:07:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:08:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:09:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:10:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:11:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:12:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:13:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:14:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:15:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:16:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:17:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:18:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:19:00	14	0.00	0.20	0.20	3.00	3.00
2019-08-19 00:20:00	14	0.20	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:21:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:22:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:23:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:24:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:25:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:26:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:27:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:28:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:29:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:30:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:31:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:32:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:33:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:34:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:35:00	14	0.00	0.40	0.40	3.20	3.20
2019-08-19 00:36:00	14	0.20	0.60	0.60	3.40	3.40
2019-08-19 00:37:00	14	0.00	0.60	0.60	3.40	3.40
2019-08-19 00:38:00	14	0.00	0.60	0.60	3.40	3.40
2019-08-19 00:39:00	14	0.00	0.60	0.60	3.40	3.40
2019-08-19 00:40:00	14	0.00	0.60	0.60	3.40	3.40
2019-08-19 00:41:00	14	0.00	0.60	0.60	3.40	3.40
2019-08-19 00:42:00	14	0.00	0.60	0.60	3.40	3.40
2019-08-19 00:43:00	14	0.00	0.60	0.60	3.40	3.40
2019-08-19 00:44:00	14	0.00	0.60	0.60	3.40	3.40
2019-08-19 00:45:00	14	0.00	0.60	0.60	3.40	3.40



# Атмосферийн алдагдал



Агаар мандал нь янз бүрийн хий болон агаар мандлын тоосонцор, утаа гэх мэт жижиг хэсгүүдээс бүрддэг. Эдгээрээс гадна бороо, утаа, цас, манан, агаарын хуйлрал зэрэг том хэмжээтэй хур тунадас ордог. Эдгээр нь агаар мандлын бүрдэл нь түвшинг бууруулж, гэрлийн тархалт, шингээх зэрэг хүчин зүйлээс шалтгаалан оптик дохионы чадал буурдаг.

Төрөл	Радиус (мкм)	Сарнилт
Агаарын молекул	0.0001	Rayleigh
Будан	0.01-1	Rayleigh-Mie
Манан	1-20	Mie-Geometrical
Бороо	100-10000	Geometrical
Цас	1000-5000	Geometrical
Мөндөр	5000-50000	Geometrical

Холбооны салбар

Улаанбаатар



## Борооны унтралт



- Борооны унтралт нь борооны зам дахь борооны эрчим, борооны дуслын хэлбэр, борооны дуслын хэмжээ, ажиллах давтамж, бороо орох үеийн температур, салхины хурд зэргээс хамаарна.
- Борооны дуслын радиус (0,1-10мм) ердийн FSO системийн долгионы уртаас их байдаг. Одоо хэрэглэгдэж байгаа гэрлийн долгионы урт 1550 нанометр буюу 1,5 микрометр байна.
- Борооноос шалтгаалах долгионы унтралтыг тооцоолох загварт хамгийн өргөн хэрэглэгддэг арга нь Marshal and Palmer distribution юм.

$$A_{rain} = a * R^b \text{ dB} / \text{km}$$

- $R^b$ =борооны хурд mm/h, a, b нь борооны дуслын хэмжээ болон бороо орох үеийн температур, давтамжаас хамаарч гардаг загвар коэффициентууд.

Урсгалын системийн шинжлэх ухааны тусламжтайгаар

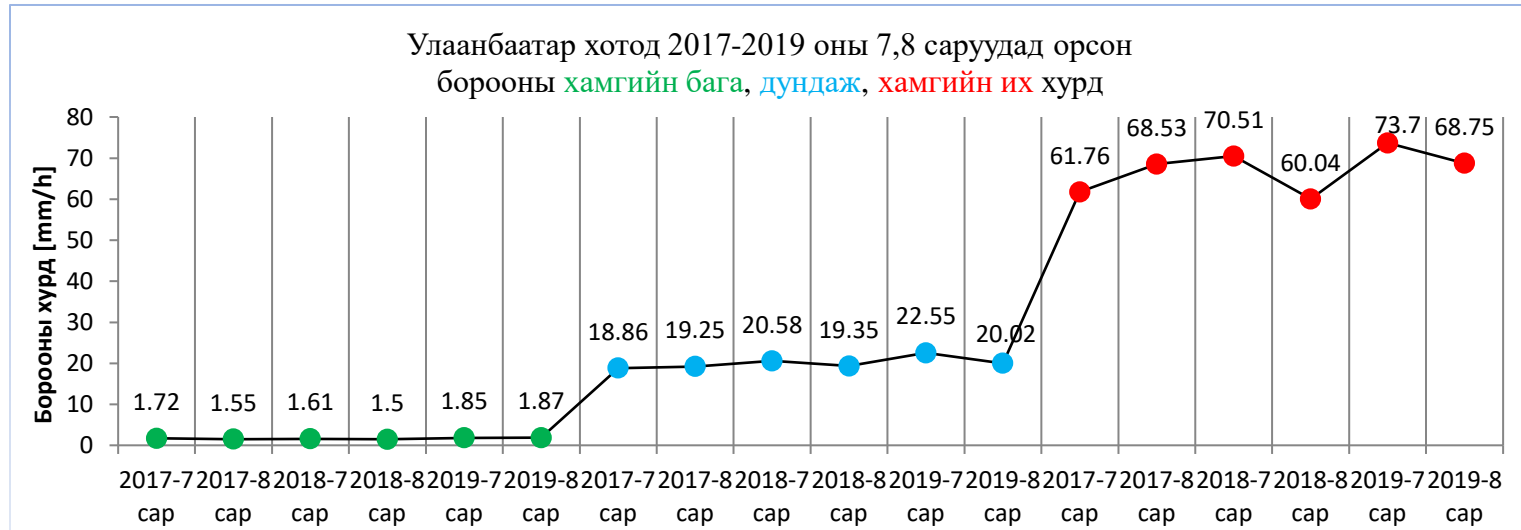


# Борооны унтралт

Улаанбаатар хотод орсон борооны дуслын хурд

Улаанбаатар хотод орсон борооны хамгийн бага, дундаж, хамгийн их хурд

2017-2019 онуудын 7,8 саруудад Улаанбаатар хотод орсон борооны дуслын хурд.



Эх сурвалж: ИНЕГ-ын харьяа Холбоо Навигацийн Ажиглалтын алба

Холбооны салбар



МОНГОЛ  
УЛААНБААГАТ

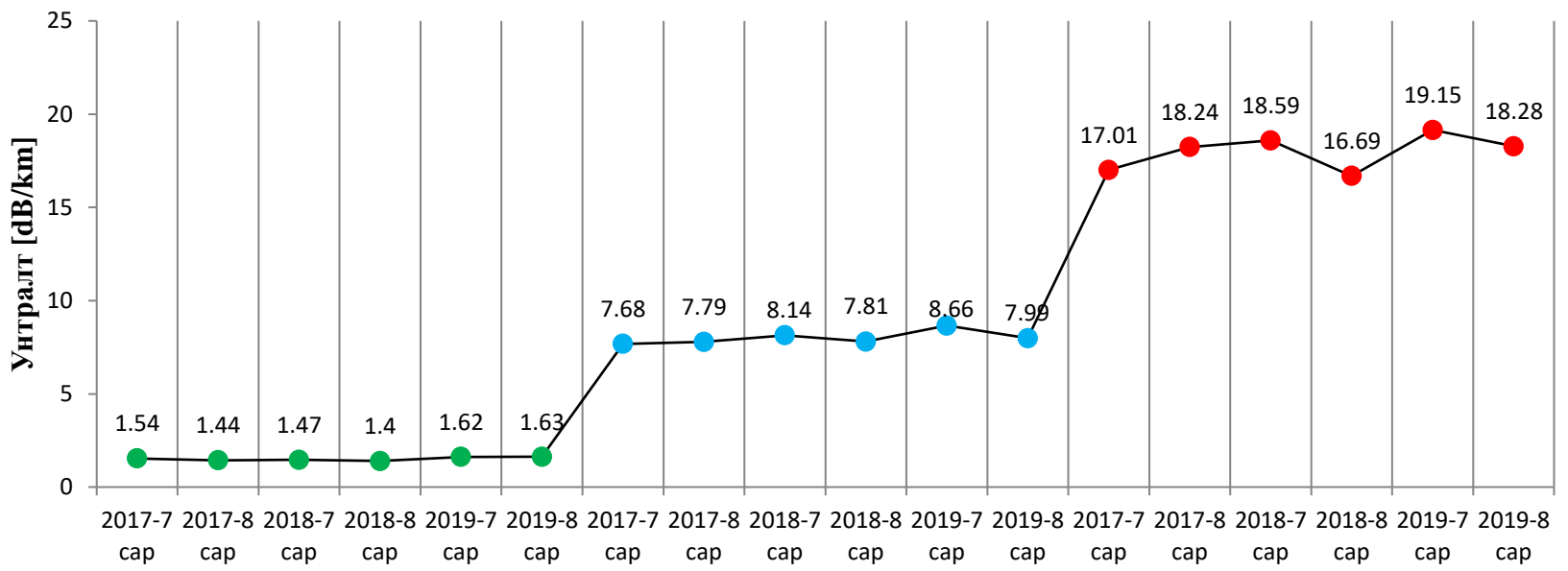
УЛААНБААГАТ  
ХАМГИЙН ИХ  
ХУРДААС  
ХАМААРСАН  
УНТРАЛТ



# Борооны унтралт

## Маршил-Палмерийн тархалтаар борооны унтралтыг тооцоолсон үр дүн

Улаанбаатар хотод 2017-2019 оны 7,8 саруудад орсон борооны хамгийн бага, дундаж, хамгийн их хурднаас хамаарсан унтралт



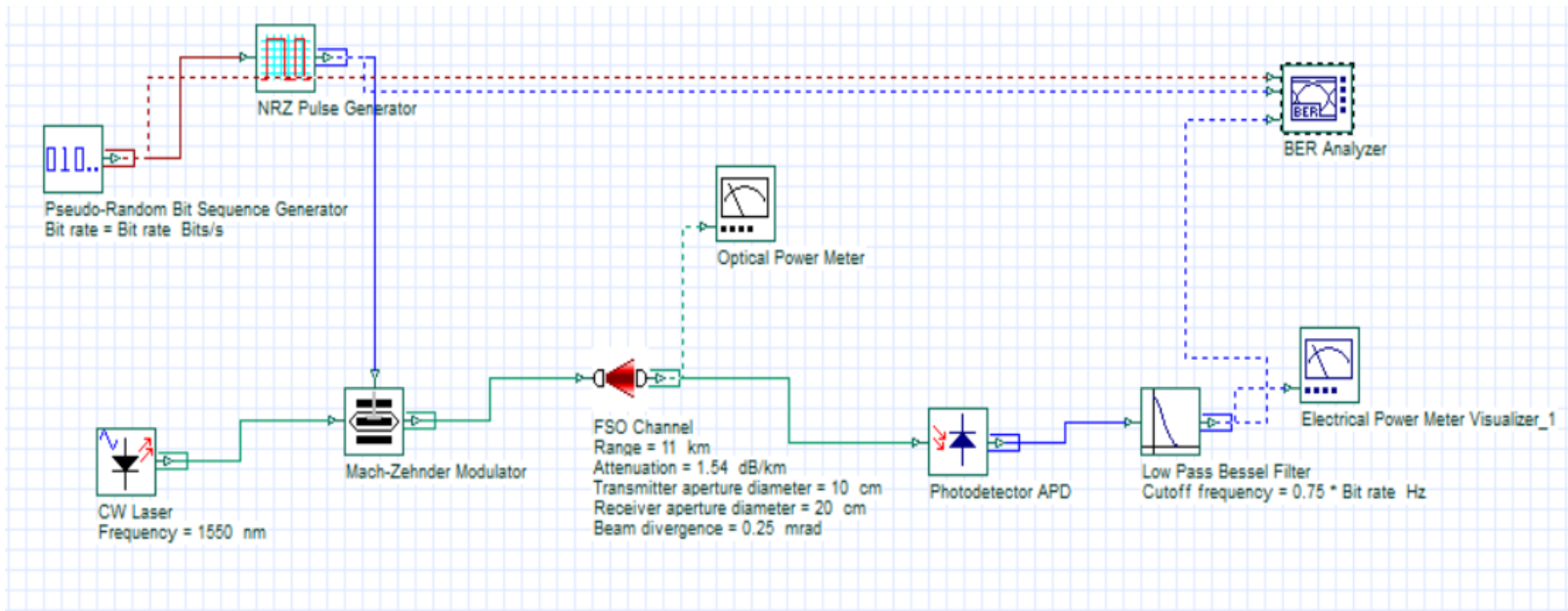
Холбооны салбар



# Борооны унтралт



FSO системд нөлөөлөх борооны нөлөөллийг OptiSystem програм ашиглан симуляци хийсэн схем:



Улаанбаатарын Их Сургууль  
Техникийн Факультет  
Телевизиончлолын Хэлтэс



Улаанбаатар хотод 2017-2019 оны 7,8 саруудад орсон борооны хамгийн бага, дундаж, хамгийн их хурднаас хамаарсан дамжууллын зай

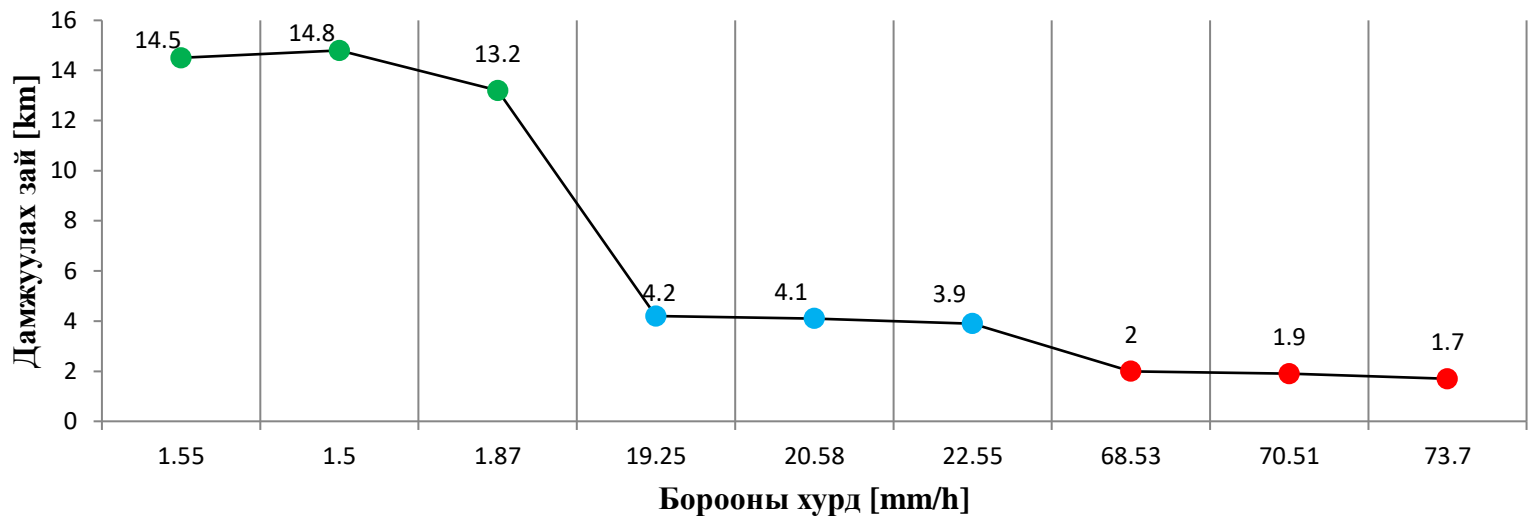
Улаанбаатар хотод 2017-2019 оны 7,8 саруудад орсон борооны хамгийн бага, дундаж, хамгийн их хурднаас хамаарсан дамжууллын зай

# Борооны унтралт



Симуляцийн үр дүнгээр FSO системээр өгөгдөл дамжуулах боломжит зайг тодорхойллоо.

Улаанбаатар хотод 2017-2019 оны 7,8 саруудад орсон борооны хамгийн бага, дундаж, хамгийн их хурднаас хамаарсан дамжууллын зай



Холбооны салбар



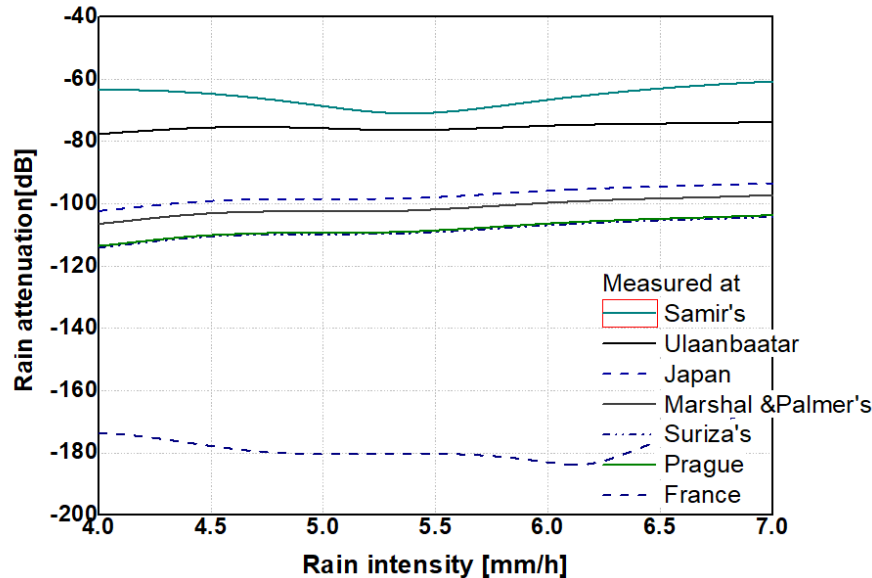


# ITU-R P.(530, 837, 1814, 2104)



**Table 2**  
Rain attenuation prediction model for FSO recommended by ITU-R.

Model	Origin	Author	$k$	$\alpha$	Note
Carbonneau	France	ITU-R	1.076	0.67	Temperate region
Japan	Japan	ITU-R	1.58	0.63	Temperate region
J. Joss	Switzerland	Bouchet	0.509	0.63	Temperate region drizzle or light rain ( $R < 3.8$ mm/h)
J. Joss	Switzerland	Bouchet	0.319	0.63	Temperate region drizzle or light rain ( $3.8 < R < 7.6$ mm/h)
J. Joss	Switzerland	Bouchet	0.163	0.63	Temperate region drizzle or light rain ( $R > 7.6$ mm/h)
Marshall and Palmer	Canada	Bouchet	0.365	0.63	Temperate region



Монгол орны нутаг дэвсгэр Crane  
борооны эрчмийн бүсчлэлээр F  
бүсэд(өргөрөг 47.55, уртаргаг 106.55).  
Сэрүүн бүсийн хуурай уур  
амьсгалтай(temperate region, arid zone).

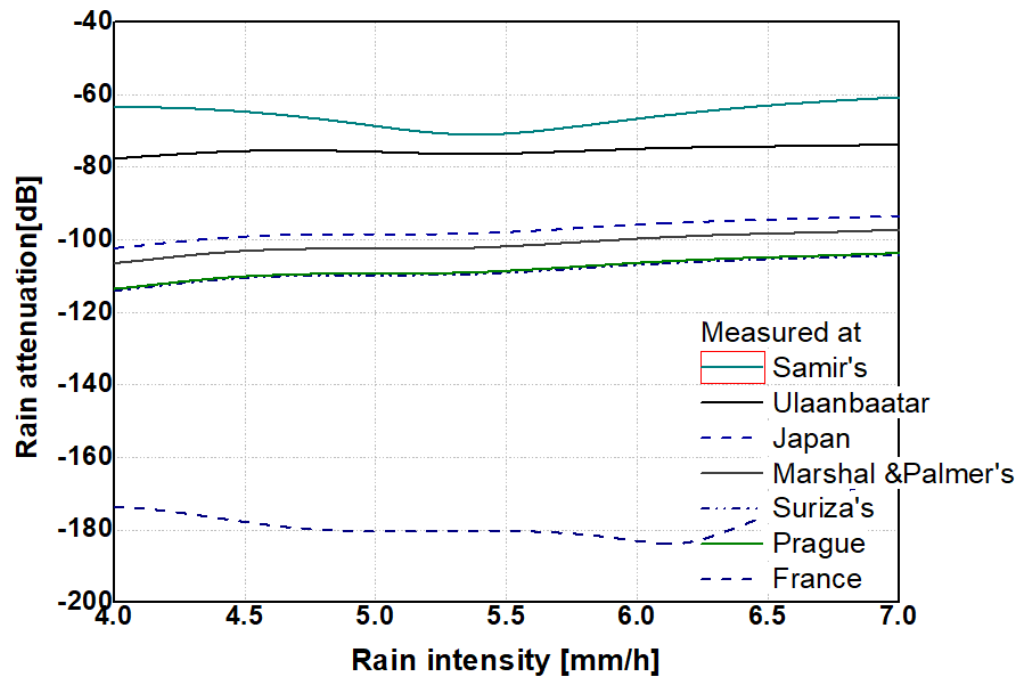
Урьдчилсан судалгаа



# Борооны унтралтыг урьдчилан тооцоолох загвар



Урьдчилан тооцоолох загварын үр дүнгийг харуулах





# Агаарын бохирдлын судалгаа

Хийн дэх хатуу эсвэл шингэн хэсгүүдийн нийлмэл систем юм. Тоосонцор нь ихэвчлэн агаарт байдаг бөөмс ба хийг агуулдаг. Агаар мандлын тоосонцор нь дэлхийн уур амьсгал болон цацрагийн тусгалд шууд болон шууд бус замаар нөлөөлдөг. Тоосонцор хэсгүүдийн хэмжээ нь ердөө 0.1-ээс 10мкм байдаг

Агаар дахь 2.5мкм, 10мкм жижиг аэродинамик эквивалент диаметртэй тоосонцор нь цацрагийн тархалтад шингээлт болон геометр сарнилт үүсгэнэ.



Зураг 1

Холбооны салбар

МОНГОЛЫН УУС АМЬСГАЛЫН ШИНЖЛЭЛЭТНИЙ УНДГАЙН ГЭМЭГ

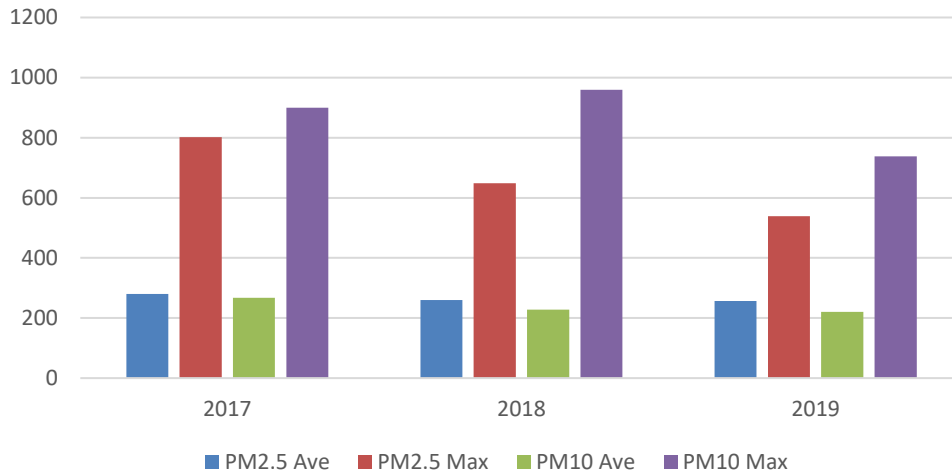


МОНГОЛ УЛСЫН  
ХАГААРЫН БОХИРДЛЫН  
ХАРИЦУУЛАЛТЫН  
АГЫН ГЭРЭГ



# Агаарын бохирдлын харьцуулалт

## Тоосонцорын агууламж [мкг/м3]



№	[мкг/м3]	2017	2018	2019
PM2.5	Ave	280	260	257
	Max	802	649	539
PM10	Ave	267	228	220
	Max	900	959	738

2017, 2018, 2019 оны 1-р сарын харьцуулалт

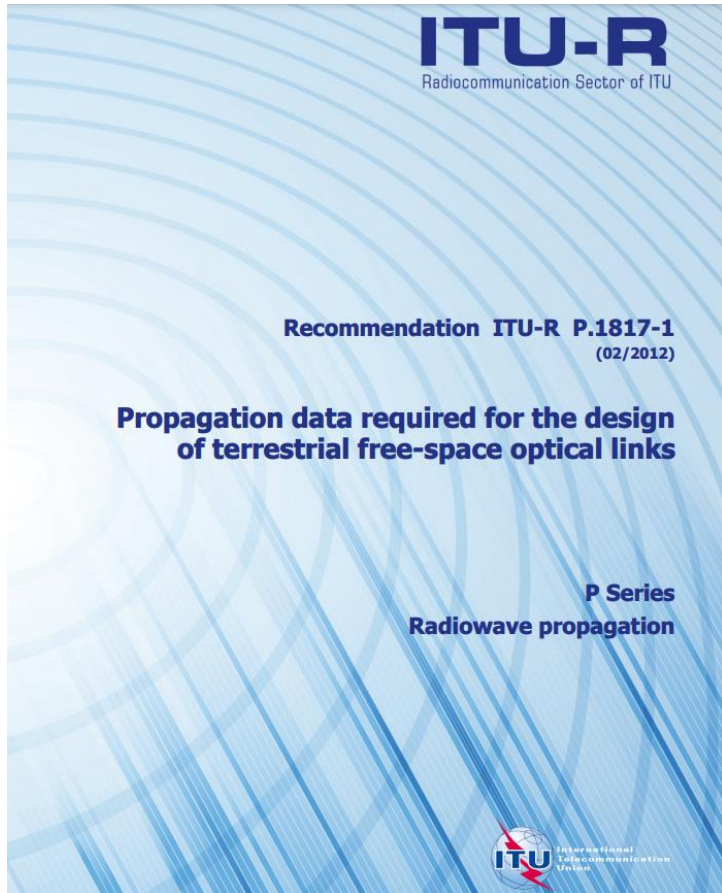
Холбооны салбар





МОНГОЛ УЛСЫН  
МЭДЭЭ АМЬСГАЛ  
ТЭХНИКИЙН  
УЛАМГАЙН  
ХАМГААГАГЧ  
ТӨВӨН  
ШУТИС

# Стандартууд



The current international Free-Space Optics (FSO) standards:

- ITU-T Recommendation G.640 Co-location longitudinally compatible interfaces for Free space optical systems
- ITU-R Recommendation P.1817-1 Propagation data required for the design of terrestrial Free-space optical links
- IEEE802.15.7 standard Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible
- IEC 60825, Safety of laser products series.
- ITU-R SM.2422-0 Visible light for broadband communications.

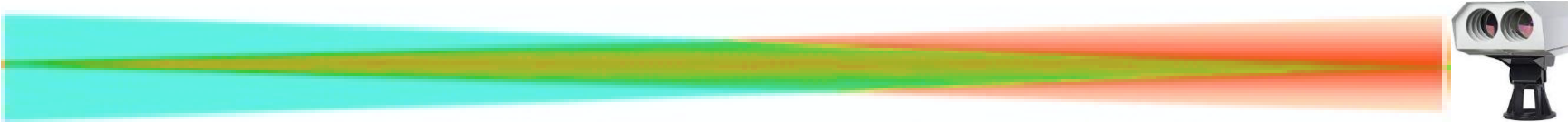
*Холбооны салбар*





ШУТИС

МОНГОЛ УЛАСЫН  
ХАМГААГАХ  
ТАЛЛАХ  
ЭРХЭМ  
ХАМГААГАХ  
МОНГОЛ  
УЛАСЫН  
ХАМГААГАХ  
ТАЛЛАХ  
ЭРХЭМ  
ХАМГААГАХ



# Анхаарал тавьсанд баярлалаа.