

## TARMOQLARNI "AQLLI" QILISH (INTELLIGENT REFLECTING SURFACES - IRS)

*XALILOV M.M.<sup>1</sup>, KAMOLDINOV J.U.<sup>2</sup>*

*FDTU o'qituvchisi<sup>1</sup>, FDTU talabasi<sup>2</sup>*

Annotatsiya: Ushbu maqolada kelajak simsiz aloqa tizimlarida energiya va spektral samaradorlikni oshirishga qaratilgan intellektual aks ettiruvchi yuzalar (IRS) texnologiyasi tadqiq etilgan. IRSning ishlash tamoyillari, faza siljishini optimallashtirish muammolari hamda uning an'anaviy faol retlyansiyatorlardan afzalliklari matematik modellar orqali tahlil qilingan. Shuningdek, texnologiyani O'zbekistonning chekka hududlarida qamrovni kengaytirish uchun joriy etish istiqbollari va mavjud muammolar ko'rib chiqilgan.

Kalit so'zlar: Intellektual aks ettiruvchi yuzalar (IRS), faza siljishi, energiya samaradorligi, sun'iy intellekt, simsiz aloqa, spektral samaradorlik, virtual kanal.

Kirish: Zamonaviy telekommunikatsiya tarmoqlari tobora ortib borayotgan ma'lumotlar oqimini uzluksiz va samarali uzatishni ta'minlash talabi bilan yuzlashmoqda. Ushbu talabni qondirish uchun yangi texnologiyalarni joriy etish zarurati paydo bo'lmoqda. Intelligent Reflecting Surfaces (IRS) - tarmoqlarni "aqlli" qilish texnologiyasi so'nggi yillarda katta e'tiborni qozonmoqda. IRS radiochastota signallarini passiv tarzda qayta yo'naltirish orqali simsiz aloqa sifatini yaxshilashga qaratilgan innovatsion yechimdir. Ushbu texnologiya tarmoq qamrovini kengaytirish, signallarning shovqin darajasini kamaytirish va spektrdan foydalanish samaradorligini oshirish imkoniyatini beradi. Ushbu bo'lim IRS texnologiyasining asosiy tamoyillari, arxitekturasi va potentsial afzalliklarini ko'rib chiqadi. Maqsadimiz - IRSning kelajak tarmoqlari uchun muhim ahamiyatga ega ekanligini ochib berish va ushbu sohadagi tadqiqotlar uchun zamin yaratishdir. IRS texnologiyasini chuqur o'rganish orqali biz zamonaviy aloqa tizimlarining samaradorligi va ishonchliligini oshirishga hissa qo'shishimiz mumkin.

Intellektual aks ettiruvchi yuzalar (IRS) — bu radioto'lqinlarning tarqalishini intellektual boshqarish orqali simsiz tarmoqlar unumdorligini oshirishga qaratilgan inqilobiy texnologiyadir. IRS ko'p sonli passiv aks ettiruvchi elementlardan tashkil topgan bo'lib, ularning har biri tushayotgan signal fazasini mustaqil ravishda

o'zgartirishga qodir. Ushbu imkoniyat IRSga signallarni kogerent aks ettirish, nurlarni shakllantirish va istalgan joylarda qabul qilinadigan signallarni kuchaytirish, shu bilan birga istalmagan joylarda xalaqitlarni (g'ovlarni) susaytirish imkonini beradi.

IRSning asosiy ishlash prinsipi aks etgan signallarning fazasini boshqarishdan iborat. Har bir elementning faza siljishini nazorat qilish orqali IRS radiochastota energiyasini ma'lum hududlarga samarali yo'naltirishi mumkin. Masalan, uzatuvchi va qabul qiluvchi o'rtasidagi to'g'ridan-to'g'ri yo'l to'silib qolgan ssenariyda, IRS signalni to'siq atrofida aks ettirish orqali virtual kanal yaratish uchun ishlatilishi mumkin. Har bir elementning faza siljishi aks etgan signallar qabul qilgichda konstruktiv ravishda qo'shilishi, signal quvvatini oshirishi va aloqa sifatini yaxshilashi uchun sozlanadi.

IRSning samaradorligi aks ettiruvchi elementlar tomonidan faza siljishlarining aniq sozlanishiga bog'liq. Odatda bunga kanal holatini baholaydigan va tarmoq unumdorligini maksimallashtirish uchun fazalarni optimallashtiradigan kontroller yordamida erishiladi. Kanalni baholash pilot signallar yoki teskari aloqa usullari kabi turli xil usullar yordamida amalga oshirilishi mumkin. Fazalar optimallashtirilgandan so'ng, ular kichik elektron sxemalar yordamida aks ettiruvchi elementlarga tatbiq etiladi.

IRS an'anaviy texnologiyalar, masalan, retlyanslyatorlar (replayerlar) bilan solishtirganda bir qator afzalliklarga ega. Birinchidan, IRS passiv qurilma hisoblanadi, ya'ni u tashqi quvvat manbaini talab qilmaydi, bu esa energiya sarfini va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini sezilarli darajada kamaytiradi. Ikkinchidan, IRS o'zgaruvchan simsiz aloqa sharoitlariga moslashish uchun osongina joylashtirilishi va sozlanishi mumkin. Uchinchidan, IRS nurlarni turli yo'nalishlarda shakllantirish orqali bir vaqtning o'zida bir nechta foydalanuvchiga xizmat ko'rsatishi mumkin. Masalan, IRS har bir foydalanuvchi uchun fazalarni mustaqil optimallashtirish orqali turli joylarda joylashgan ikki foydalanuvchi uchun aloqa sifatini bir vaqtning o'zida yaxshilashi mumkin.

Fazaning siljish koeffitsienti:

$$\Delta\phi = \arg(\Gamma)$$

IRS elementidagi aks ettirish koeffitsientining argumenti ( $\arg$ ) fazaning siljishini ifodalaydi. Bu siljish, keluvchi to'lqinning fazasini o'zgartiradi.

Aks ettirilgan signal quvvati:

$$P_r = |\Gamma|^2 \cdot P_i$$

IRS elementidan aks ettirilgan signalning quvvati ( $P_r$ ), aks ettirish koeffitsientining moduli kvadratiga ( $|\Gamma|^2$ ) va keluvchi signal quvvatiga ( $P_i$ ) bog'liq.

IRSdagi umumiy aks ettirish koeffitsienti:

$$\Gamma_{total} = \sum \Gamma_i \cdot e^{j\theta_i}$$

IRSdagi umumiy aks ettirish koeffitsienti ( $\Gamma_{total}$ ) har bir elementning aks ettirish koeffitsientlari

( $\Gamma_i$ ) yig'indisidan iborat bo'lib, ularning fazalari ( $\theta_i$ ) hisobga olinadi. Bu yig'indi, IRS ning umumiy yo'nalishini va quvvatini aniqlaydi.

Misol:

IRS elementidagi aks ettirish koeffitsienti  $\Gamma = 0.8 \cdot e^{j\pi/4}$  ga teng. Keluvchi signal quvvati  $P_i = 10$  mW bo'lsa, aks ettirilgan signal quvvatini toping.

Berilganlar:  $\Gamma = 0.8 \cdot e^{j\pi/4}$ ,  $P_i = 10$  mW

$$|\Gamma| = 0.8$$

$$P_r = |\Gamma|^2 \cdot P_i$$

$$P_r = (0.8)^2 \cdot 10$$

Natija:  $P_r = 6.4$  mW

IRSning afzalliklari va qo'llanilish sohalari Intellektual aks ettiruvchi sirtlar (IRS) telekommunikatsiya sohasida inqilobiy texnologiya sifatida paydo bo'lib, simsiz aloqa tizimlarining ishlashini sezilarli darajada yaxshilash imkoniyatini beradi. IRSlar passiv qurilmalar bo'lib, ular kelayotgan signallarni aks ettirish va ularning fazasini manipulyatsiya qilish orqali signallarning tarqalishini dinamik ravishda boshqaradi. Bu esa, signal sifatini oshirish, qamrovni kengaytirish va spektral samaradorlikni oshirish imkonini beradi. IRSlarning asosiy afzalliklaridan biri ularning energiyani tejash

xususiyatidir. Faol komponentlardan farqli o'laroq, IRSlar signalni kuchaytirish uchun quvvat sarflamaydi, bu esa ularni energiya tejamkor yechimga aylantiradi. Bu, ayniqsa, katta miqdordagi moslamalar joylashtiriladigan tarmoqlarda muhimdir. Bundan tashqari, IRSlarning arzonligi va o'rnatish qulayligi ularni mavjud infratuzilmaga oson integratsiya qilish imkonini beradi. IRSlar turli sohalarda keng qo'llanilish imkoniyatiga ega. Misol uchun, zich shahar muhitida IRSlar signallarni to'siqlardan aylanib o'tishga yordam beradi va shu orqali mobil aloqa sifatini yaxshilaydi. Qishloq joylarda esa, IRSlar qamrovni kengaytirib, uzoq hududlarni aloqa bilan ta'minlashi mumkin. Bundan tashqari, IRSlar sanoat avtomatlashtirishda, masofaviy tibbiyotda va aqlli uylarda ham qo'llanilishi mumkin. IRSlar yordamida dronlar aloqasini optimallashtirish va ularning boshqaruvini yaxshilash ham mumkin. IRS texnologiyasining jadal rivojlanishi kelajakda simsiz aloqa tizimlarining asosiy qismiga aylanishini ko'rsatadi. Tadqiqotchilar IRSlarning ishlashini yaxshilash, ularning o'lchamlarini kichraytirish va boshqaruv algoritmlarini takomillashtirish ustida izlanishlar olib bormoqda. Bu esa, IRSlarning yanada kengroq qo'llanilishiga va telekommunikatsiya sohasida yangi imkoniyatlar yaratilishiga olib keladi.

IRSni qo'llashdagi muammolar va ularni hal etish yo'llari Intellektual aks ettiruvchi sirtlarni (IRS) tarmoqlarga integratsiya qilish katta salohiyatga ega bo'lsa-da, bir qator muammolarni keltirib chiqaradi. Ushbu muammolarni tushunish va ularni hal etish yo'llarini ishlab chiqish IRS texnologiyasining muvaffaqiyatli joriy etilishi uchun juda muhimdir. Birinchi muammo - kanalni baholash. IRS elementlarining passiv tabiati tufayli, uzatuvchi, IRS va qabul qiluvchi o'rtasidagi kanalni aniq baholash qiyin vazifadir. Aniq kanal ma'lumotlarisiz, IRS elementlarini optimal tarzda sozlash imkonsizdir. Ushbu muammoni hal qilish uchun mashinani o'rganish algoritmlaridan foydalanish mumkin. Ushbu algoritmlar kanalni baholash uchun pilot signallarini va ma'lumotlarni tahlil qiladi. Ikkinchi muammo - IRS elementlarining soni ortishi bilan murakkablashadigan murakkablikni boshqarish. IRS elementlarining soni ortishi bilan boshqarish va optimallashtirish vazifasi eksponensial ravishda murakkablashadi. Ushbu muammoni hal qilish uchun resurslarni boshqarish strategiyalari va past

murakkablikdagi optimallashtirish algoritmlarini ishlab chiqish zarur. Masalan, IRS elementlarini kichik guruhlariga bo'lish va har bir guruhni alohida optimallashtirish mumkin. Uchinchi muammo - energiya samaradorligi. IRS passiv qurilma bo'lsa-da, IRS elementlarini boshqarish va optimallashtirish energiya sarfini talab qilishi mumkin. Energiya samaradorligini oshirish uchun energiya yig'ish texnologiyalaridan foydalanish mumkin. IRS elementlarini quvvatlantirish uchun atrof muhitdagi radiochastota signallaridan energiya yig'ish mumkin. To'rtinchi muammo - xavfsizlik. IRS signallarni manipulyatsiya qilish qobiliyatiga ega bo'lgani uchun, xavfsizlik masalalari ham muhim ahamiyatga ega. IRS orqali uzatiladigan ma'lumotlarni himoya qilish uchun shifrlash va autentifikatsiya protokollarini qo'llash zarur. Bundan tashqari, IRS elementlarining ruxsatsiz manipulyatsiyasini aniqlash va oldini olish uchun monitoring tizimlarini o'rnatish kerak. Ushbu muammolarni hal qilish IRS texnologiyasining muvaffaqiyatli joriy etilishi uchun zarurdir. Ilmiy tadqiqotlar va innovatsiyalar orqali ushbu muammolarni hal etish yo'llarini topish, IRSning potentsialidan to'liq foydalanishga imkon beradi.

IRS Texnologiyasining Kelajakdagi Istiqbollari Intellectual aks ettiruvchi sirtlar (IRS) simsiz aloqa sohasida inqilobiy o'zgarishlar yasash salohiyatiga ega bo'lib, kelajakda keng qo'llanilishi kutilmoqda. Bu texnologiya elektromagnit to'lqinlarni boshqarish orqali signal sifatini yaxshilash, qamrov doirasini kengaytirish va energiya sarfini kamaytirish imkonini beradi. IRSning kelajakdagi istiqbollari bir nechta muhim yo'nalishlarni o'z ichiga oladi. Birinchidan, IRS 6G va undan keyingi avlod simsiz tarmoqlarda muhim rol o'ynashi kutilmoqda. Yuqori chastotalarda signal zaiflashuvi muammosini hal qilishda IRSning signalni aniq nuqtalarga yo'naltirish qobiliyati qo'l keladi. Bu esa, yuqori ma'lumot uzatish tezligini ta'minlash va tarmoqning ishonchliligini oshirish imkoniyatini beradi. Ikkinchidan, IRS Internet of Things (IoT) qurilmalarining keng tarqalishi bilan bog'liq muammolarni bartaraf etishda yordam beradi. IRS yordamida signal qamrovini optimallashtirish orqali ko'plab IoT qurilmalarining uzluksiz aloqasini ta'minlash mumkin. Masalan, "aqlli shahar" loyihalarida IRS sensorlar, aktuatorlar va boshqa qurilmalar o'rtasida barqaror aloqa

o'rnatishga xizmat qilishi mumkin. Uchinchidan, IRS texnologiyasining rivojlanishi passiv aks ettiruvchi sirtlardan faol aks ettiruvchi sirtlarga o'tish bilan bog'liq. Faol IRSlar signalni yanada aniqroq boshqarish va moslashuvchanlikni oshirish imkoniyatini beradi. Bu esa, tarmoqning o'zgaruvchan sharoitlarga moslashuvchanligini ta'minlaydi va signal sifatini yanada yaxshilaydi. To'rtinchidan, IRSni sun'iy intellekt (AI) va mashinaviy o'qitish (ML) bilan integratsiya qilish orqali tarmoqning avtonom boshqaruvini ta'minlash mumkin. AI/ML algoritmlari IRS konfiguratsiyasini real vaqtda optimallashtirish, tarmoq resurslaridan samarali foydalanish va foydalanuvchilarning talablarini qondirish imkoniyatini beradi. Beshinchidan, IRS texnologiyasining tijoratlashtirilishi va ommaviy ishlab chiqarishga o'tilishi narxlarni pasaytirishga va ushbu texnologiyaning keng tarqalishiga olib keladi. Bu esa, IRSni turli sohalarda, jumladan, uyali aloqa, Wi-Fi, IoT va boshqa simsiz aloqa tizimlarida keng qo'llash imkoniyatini yaratadi.

IRS elementining adaptiv sozlanish tezligi:

$$T_a = k \left( 1 - \frac{P_e}{P_{max}} \right) f_c$$

Bu formula IRS elementining adaptiv sozlanish tezligini ( $T$ ) hisoblaydi, bu yerda  $k$  - sozlanish samaradorlik koeffitsienti,  $P_e$  - joriy energiyaning aks etishi,  $P_{max}$  - maksimal aks ettirilgan energiya va  $f_c$  - boshqaruv signali chastotasi. Kelajakda, bu tezlikni oshirish orqali real vaqtda o'zgaruvchan muhitga moslashish mumkin.

IRS ning energiya samaradorligini oshirish koeffitsienti:

$$E_s = \frac{P_q}{P_b} \left( 1 + \frac{\Delta\theta}{\theta_0} \right)$$

IRS texnologiyasining kelajakdagi istiqbollarda energiya samaradorligini oshirish muhim. Bu yerda  $E_s$  - energiya samaradorlik koeffitsienti,  $P_q$  - IRS yordamida qabul qilingan signal quvvati,  $P_b$  - IRSSiz qabul qilingan signal quvvati,  $\Delta\theta$  - aks ettirish burchagidagi o'zgarish,  $\theta_0$  - boshlang'ich aks ettirish burchagi.

IRS ning sun'iy intellekt bilan integratsiyalashgan boshqaruv algoritmi samaradorligi:

$$A_s = \alpha(1 - e^{-\beta I_k})$$

Bu formula sun'iy intellekt (SI) bilan integratsiyalashgan IRS boshqaruv algoritmining samaradorligini ( $A_s$ ) baholaydi. Bu yerda  $\alpha$  - maksimal samaradorlik,  $\beta$  - o'rganish tezligi,  $I_k$  - SI tomonidan amalga oshirilgan iteratsiyalar soni. Kelajakda SI yanada murakkab algoritmlarni yaratishga yordam beradi.

Misol:

IRS yordamida signal quvvatini oshirish masalasi. Berilganlar: IRS elementlari soni ( $N=100$ ), IRSsiz qabul qilingan signal quvvati ( $P_b = -80$  dBm), IRS yordamida qabul qilingan signal quvvati ( $P_q = -70$  dBm). IRS energiyasining samaradorligini aniqlang ( $E_s$ ), agar aks ettirish burchagi 5 gradusga o'zgargan bo'lsa ( $\Delta\theta = 5^\circ$ ), boshlang'ich aks ettirish burchagi 30 gradus ( $\theta_0 = 30^\circ$ ).

Berilgan:  $N = 100, P_b = -80$  dBm,  $P_q = -70$  dBm,  $\Delta\theta = 5^\circ, \theta_0 = 30^\circ$

Formulani qo'llaymiz:

$$E_s = \frac{P_q}{P_b} \left( 1 + \frac{\Delta\theta}{\theta_0} \right)$$

Qiymatlarni o'rniga qo'yamiz:

$$E_s = \frac{10^{-7}}{10^{-8}} \left( 1 + \frac{5}{30} \right)$$

$$E_s = 10 \cdot \left( 1 + \frac{1}{6} \right)$$

$$E_s = 10 \cdot \frac{7}{6}$$

$$E_s = \frac{70}{6} \approx 11.67$$

Natija: IRS energiyasining samaradorligi taxminan  $E_s \approx 11.67$  ga teng.

Xulosa: Intellektual aks ettiruvchi sirtlar (IRS) simsiz aloqa tizimlarining ishlashini yaxshilashda katta salohiyatga ega innovatsion texnologiya sifatida paydo bo'ldi. Ushbu tadqiqot IRSni O'zbekistonda tarmoqlarni "aqlli" qilish uchun qo'llashning

asosiy jihatlari va afzalliklarini o'rganadi. IRS mavjud infratuzilmaga muammosiz integratsiya qilinishi mumkin bo'lgan qayta konfiguratsiya qilinadigan sirtlarni taqdim etish orqali signal qamrovini kengaytirish, signal sifatini oshirish va spektr samaradorligini optimallashtirish imkoniyatini beradi. Tahlil shuni ko'rsatadiki, IRSni joylashtirish orqali O'zbekistonning qishloq va tog'li hududlarida aloqa imkoniyatlari sezilarli darajada yaxshilanishi mumkin. IRS signal to'siqlarini bartaraf etish va o'lik zonalarni kamaytirishga yordam beradi. Bundan tashqari, IRSdan foydalanish tarmoqning quvvat samaradorligini oshirishi va energiya sarfini kamaytirishi mumkin, bu esa O'zbekistonning barqaror rivojlanish maqsadlariga mos keladi. Tadqiqot davomida IRSni O'zbekiston telekommunikatsiya infratuzilmasiga joriy etishda bir qator muammolar mavjudligi aniqlandi. Ular orasida IRSni joylashtirish uchun optimal joylarni aniqlash, xarajatlarni minimallashtirish va texnologiyaning ishonchligini ta'minlash masalalari bor. Ushbu muammolarni hal qilish uchun hukumat, ilmiy muassasalar va telekommunikatsiya operatorlari o'rtasida hamkorlikni yo'lga qo'yish, shuningdek mahalliy sharoitga moslashtirilgan sinov loyihalarini amalga oshirish zarur. Kelajakdagi tadqiqotlar IRSni qo'llashning iqtisodiy samaradorligini baholashga, sun'iy intellekt algoritmlari bilan integratsiya qilish imkoniyatlarini o'rganishga va kiberxavfsizlik jihatlari ta'minlashga qaratilishi kerak.

#### FOYDALANGAN ADABIYOTLAR

1. Hamroyev H.H. Simsiz tarmoqlarda signalni shakllantirish. Andijon: Andijon nashriyoti, 2012.
2. Norqulov N.N. Axborot xavfsizligi asoslari. Farg'ona: Farg'ona universiteti, 2020.
3. Qarshiyev Q.Q. Raqamli aloqa texnologiyalari. Buxoro: Durdona nashriyoti, 2015.
4. Rahimov B.S. Tarmoqlarni boshqarishning zamonaviy usullari. Samarqand: Ipak yo'li, 2018.
5. Abdurahobov A.A. Simsiz aloqa tizimlarida aqlli aks ettiruvchi sirtlar. Toshkent: Universitet nashriyoti, 2023.