

Үүрэн болон Wi-Fi холимог сүлжээнд DRL аргад суурилсан суваг хуваарилалтын судалгаа

Баярмаа Рагчаа
Холбооны салбар
Мэдээлэл Холбооны Технологийн
Сургууль, ШУТИС, Улаанбаатар,
Монгол улс
bayarmaa@must.edu.mn

Казухико Киношита
Ухаалаг систем ба мэдээллийн
технологийн салбар
Токушима Их Сургууль)
Токушима, Япон
kazuhiko@is.tokushima-u.ac

Отгонбаяр Батаа
Холбооны салбар
Мэдээлэл Холбооны Технологийн
Сургууль, ШУТИС, Улаанбаатар,
Монгол улс
otgonbayar_b@must.edu.mn

Хураангуй—Хөдөлгөөнт системд ачааллын хэмжээ жилээс жилд өсөн нэмэгдэхийн хэрээр утасгүй сүлжээнд спектрийн нөөц улам бүр хуралцээгүй болж байна. Энэ их хэмжээний ачааллыг хангаж багтаамжийг сайжруулахын тулд үүрэн системийг лицензгүй зурваст ашиглах нь ирээдүйтэй, үр ашигтай шийдлийн нэг болно. Энэ тохиолдолд үүрэн систем Wi-Fi болон бусад лицензгүй зурваст ажилладаг системүүдтэй зэрэгцэж ажиллах болно. Энэ судалгааны ажлаараа DRL аргад суурилсан суваг хуваарилалтын оновчлолыг Wi-Fi AP болон үүрэн eNB хооронд хийхийг зорьсон. Үүнийг хэрэгжүүлэхийн тулд AP болон eNB шигүү суурьлуулсан утасгүй холимог сүлжээнд нөөц хуваарилалтыг хэрэгжүүлэх эмуляторыг хөгжүүлж DDQN моделийг сургасан. Бидний санал болгож байгаа алгоритм бусад уламжлалт аргатай харьцуулахад дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг 25,5%-48,7%-иар сайжруулсан. Бид сургасан агентын гүйцэтгэлийн үр ашгийг үнэлэхийн тулд хэрэглэгчийн ирэх хурд янз бүр үед суваг хуваарилалт хийж дундаж нэвтрүүлэх чадамжаар нь үнэлэлт хийсэн.

Keywords—холимог сүлжээ, 5G, Wi-Fi систем, суваг хуваарилалт, DRL, лицензгүй зурвас

I. INTRODUCTION

Хөдөлгөөнт холбооны ачаалалын жилийн өсөлт нь 2020-2030 онд 55%, мөн дэлхийн нийтийн хэмжээний сарын ачаалал нь 2025 онд 543ЕВ, 2030 онд 4394ЕВ болох [1] судалгаа гарсан. Эдгээр судалгаанаас авч үзэхэд утасгүй сүлжээний багтаамж нь хөдөлгөөнт холбооны ачааллын энэ экспоненциал өсөлтийг хангаж чадахгүй нь харагдаж байна. Энэ асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд LTE, 5G гэх мэт үүрэн системийг лицензгүй зурваст өргөтгөн ажиллуулах нь спектр ашиглалтын хувьд үр ашигтай бөгөөд ирээдүйтэй шийдэл болно [2], [3]. 5G, NR-U системийн хувьд 1-100ГГц-ийн аль ч давтамжийн зурваст ажиллах [4] боломжтой ба эхний шатанд 5ГГц-ийн зурвас дээр судалгаа хийгдэнэ. Мөн LAA болон NR-U эхний ээлжинд 5ГГц-ийн лицензгүй зурваст зэрэгцэж ажиллах болно. Энэ давтамж дээр 500МГц хүртлэх спектрийн нөөц лицензгүй зурваст ажилладаг төхөөрөмжүүдийн хувьд боломжтой [6], [7].

Ялгаатай технологиуд ижил давтамж дээр ямар нэг зохицуулалтгүйгээр ажиллахад их хэмжээний интерференц үүсгэж хэрэглэгчийн дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг бууруулна. LTE болон Wi-Fi технологиуд зэрэгцэж ажиллах тохиолдолд спектр хуваарилах үүрэгтэй CSAT [3], [4], LBT [9], болон ABS зэрэг технологиуд байдаг. Ерөнхийдөө, эдгээр нь LTE болон Wi-Fi системүүд дамжуулал хийхийн өмнө тухайн суваг

чөлөөтэй байгаа эсэхийг шалгах байдлаар спектрийг хувааж ашиглах зориулалттай технологиуд юм. Олон тооны судалгааны ажлуудад LTE болон Wi-Fi системүүд утасгүй сүлжээнд зэрэгцэж ажиллах боломжийг уламжлалт аргаар хийсэн. Уламжлалт аргын хувьд радио системийн нөөц хуваарилалтыг оновчлоход нилээд олон төрлийн хязгаарлагдамал байдал үүсч зарим орчин үеийн системд хэрэгжүүлэхэд үр ашиггүй болдог. Иймээс машин сургалтанд суурилсан, ялангуяа DRL арга нь сүлжээний статистикийн бүрэн мэдээлэлгүй ч удирдлагыг ухаалагаар хэрэгжүүлэх боломжтой юм [10]. Машин сургалтын гурван үндсэн арга байдгаас бид суваг хуваарилалтыг оновчлоход DRL аргыг сонгосон. Учир нь энэ судалгааны ажлын хувьд нэвтрүүлэх чадамж болон суваг хуваарилалт гэсэн хоёр тодорхойгүй, сайжруулах шаардлагатай параметртэй. Үүнийг DRL аргаар хэрэгжүүлэхийн тулд суваг хуваарилалтыг үйлдэл (action), дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг шагнал (reward) болгож авсан. Бидний хэрэгжүүлсэн машин сургалтанд суурилсан аргын хувьд дундаж нэвтрүүлэх чадамж нь уламжлалт аргуудтай харьцуулахад сайжирсан.

Энэ судалгааны ажлаар утасгүй холимог сүлжээнд шигүү суурьлуулсан Wi-Fi AP болон LTE eNB-д DRL-д суурилсан аргаар сувгийг оновчтой хуваарилж өгсөнөөр дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг сайжруулах зорилт тавьсан. Үүнийг хэрэгжүүлэхдээ DQN агентыг сургахын тулд тэгш өнцөгт талбайд Wi-Fi AP болон LTE eNB шигүү суурилуулсан байхаар эмулятор хөгжүүлсэн [5]. Сургасан загвар хамгийн их шагнал авсан буюу өндөр нэвтрүүлэх чадамжтай болсон үед сувгийг оновчтой хуваарилалт хийж чадаж байна. Энэ нь тасралтгүй өсөн нэмэгдэж байгаа утасгүй сүлжээний ачаалалд тохируулан спектрийн нөөцийг үр ашигтай хуваарилах боломжийг бүрдүүлнэ.

II. СУДЛАГДСАН БАЙДАЛ

A. Нөөц хуваарилалтын аргууд

Үүрэн холбооны 4G LTE, 5G системүүдийг лицензгүй зурваст шилжүүлэн ашигласан үед уг зурваст хамгийн түгээмэл Wi-Fi (IEEE 802.11a.b.g.n гэх мэт) системтэй спектрийн нөөц хуваарилалт, суваг эзлэлтийн хамгийн их хугацаа, эзлэгдсэн зурвасын өргөний хамгийн бага хэмжээ, бусад системтэй шудрага зэрэгцэж ажиллах зэргийг судласан [11]. Үүрэн болон Wi-Fi системүүд нь MAC протоколын ялгаатай байдлаас болж ямар нэг зохицуулалтгүй ажиллах хүндрэлтэй. Үүрэн систем нь OFDMA, харин Wi-Fi систем CSMA/CA хандалтын аргыг хэрэглэдэг. Эдгээр суурь ялгаатай аргаас шалтгаалан LTE

систем Wi-Fi-д илүү интерференц үзүүлдэг [9]. Энэ асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд LBT, CSAT, ABS зэрэг нөөц хуваарилалтын аргуудыг үүрэн болон Wi-Fi хосолсон системүүдэд ашигладаг [13].

В. Үүрэн болон Wi-Fi хосолсон системд уламжлалт аргаар нөөц хуваарилалт хийх.

Зарим судалгааны ажлуудад [6],[8],[12],[14] үүрэн болон Wi-Fi холимог системүүдэд нөөц хуваарилахтай холбоотой асуудлуудыг тал бүрээс нь судалсан. Технологи хоорондын нөөц хуваарилалтын загварчлалыг системийн хувьд ялгаатай давхарга тус бүр дээр техникийн болон техникийн бус талаас нь судалсан [9]. Үүрэн холбоо, Wi-Fi болон радар зэрэг системийн нөөц хуваариалалтыг 5ГГц-ийн зурваст хийх боломжийн талаар [6] авч үзсэн. [8] дээр үүрэн болон Wi-Fi системүүдэд нөөц хуваарилахтай холбоотой асуудлуудыг, тухайлбал, лицензгүй зурваст зөөгчийг нэгтгэх, MAC протоколын харьцуулалт, зэрэгцээ сувгийн интерференц зэрэг асуудлуудыг судалсан. Генетик алгоритмд суурилсан аргаар [13] LTE/Wi-Fi холимог системд, дундаж нэвтрүүлэх чадамж болон шударга зэрэгцээ ажиллах нөхцлийг сайжруулахын тулд суваг хуваарилалт болон хандалтын системийг сонгох судалгаа хийсэн.

С. Үүрэн болон Wi-Fi хосолсон системд машин сургалтанд суурилсан аргаар нөөц хуваарилалт хийх.

Уламжлалт аргаар үүрэн болон Wi-Fi системийн хооронд нөөц хуваарилах талаар маш олон судалгааны ажлууд хийгдсэн. Сүүлийн үед машин болон гүн сургалтанд суурилсан аргыг холбооны системийн хувьд, жишээлбэл, спектр сонголт, хуваарилалт, хандалт зэрэг асуудлыг оновчлох зорилгоор ашигласан [10],[11],[17],[18]. Ялангуяа [19] дээр утасгүй LAN сүлжээний хувьд DRL-д суурилсан аргаар сувгийн оновчтой хуваарилалт хийх судалгаа хийсэн. Мөн түүнчлэн [19] mLTE-U ийн тохиргоог оновчтой сонгох аргыг CNN-д суурилсан аргаар гүйцэтгэсэн. Хэдийгээр маш олон судалгааны ажил үүрэн болон Wi-Fi холимог системд уламжлалт, машин болон гүн сургалтанд суурилсан аргаар хийгдсэн боловч шигүү суурилуулсан холимог сүлжээнд суваг хуваарилалт хийх талаар тусгаагүй. Мөн түүнчлэн шигүү суурилуулсан холимог сүлжээнд машин сургалт хийх болон бусад моделтой харьцуулалт хийхэд зориулсан өгөгдлийн сан байхгүй.

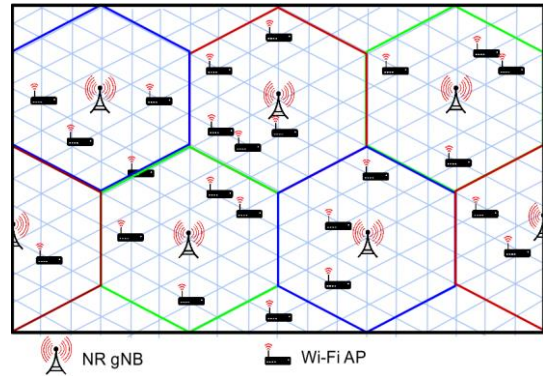
III. САНАЛ БОЛГОЖ БУЙ АРГА

А. Системийн загварчлал

Олон гурвалжин дүрсээс бүрдсэн тэгш өнцөгт хэлбэртэй талбайг зураг 1-д үзүүлснээр [5],[13] DRL -д суурилсан сургалт явуулах орчин гэж авч үзсэн.

Жижиг талбай бүр нэг болон түүнээс олон AP-р бүрхэгдэнэ. LTE BS болон Wi-Fi AP-ийн бүрхэлтийн талбай адилхан зөв зургаан талт хэлбэртэй, нийт 54 гурвалжин дүрсээс (хөх, улаан, ногоон өнгөөр дүрсэлсэн) бүрдэнэ. Үүнд хоёр төрлийн хэрэглэгч (зөвхөн Wi-Fi болон Wi-Fi-LTE хосолсон) авч үзсэн. Холимог хэрэглэгч нь Wi-Fi болон LTE системд нэвтрүүлэх болон хүлээн авах боломжтой бол Wi-Fi хэрэглэгч нь зөвхөн Wi-Fi сүлжээнд ашиглагдана. Хэрэглэгч бүрийн жижиг талбайд ирэх хурд нь пойсоны ирэх λ хурдтай байна. Хэрэглэгчдийн холболтын үргэлжлэх хугацаа

экспоненциал хуулийн дагуу дунджаар 300сек-ийн хугацаатай.



Зураг 1. Холимог системийн ерөнхий бүтэц (орчин)

Үүрэн систем LAA болон Wi-Fi систем 5ГГц-ийн лицензгүй зурваст ажиллах ба спектр хуваарилалтын схемээр LBT-г ашигласан. Нэвтрүүлэх чадамжийг олон тооны eNB, AP ижил давтамж дээр ажиллаж байгаа үед сувгийг LBT технологийн дагуу хуваан эзэмшиж буй тохиолдолд тооцоолсон. LBT технологи нь Марковын сүлжээний алгоритмын дагуу загварчлагдсан бөгөөд (1),(2) томъёогоор тооцоологдоно.

$$S_W = \frac{P_s^W E(P_W)}{(1 - P_b)\delta + P_s^W T_s^W + P_s^L T_s^L + P_c^W T_c^W + P_c^L T_c^L + P_c^{WL} \max(T_c^W, T_c^L)} \quad (1)$$

$$S_L = \frac{P_s^L E(P_L)}{(1 - P_b)\delta + P_s^W T_s^W + P_s^L T_s^L + P_c^W T_c^W + P_c^L T_c^L + P_c^{WL} \max(T_c^W, T_c^L)} \quad (2)$$

S_W – Wi-Fi AP-ууд ижил суваг хуваан эзэмшиж байгаа үед системийн нэвтрүүлэх чадамж

$$S_W = \frac{P_s^W E(P_W)}{(1 - P_b)\delta + P_s^W T_s^W + P_c^W T_c^W} \quad (3)$$

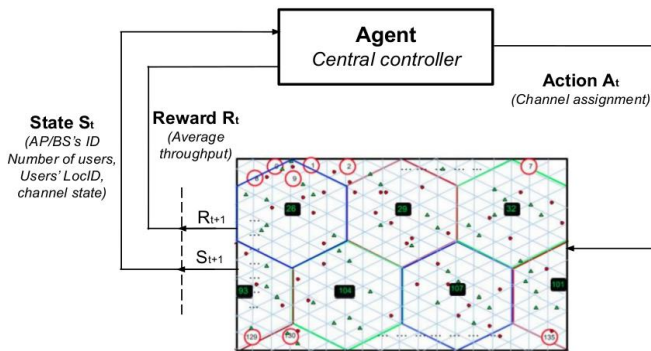
Энд: W, L -Wi-Fi болон LTE гэсэн гү.

Үүнд: $E(P_W), E(P_L)$ -багцын дундаж хэмжээ, P_s^L, P_s^W - амжилттай дамжих магадлал, P_c^L, P_c^W, P_c^{WL} -мөргөлдөөн үүсэх магадлал, T_s^L, T_s^W -амжилттай дамжууллын үе дэх суваг эзлэгдэх дундаж хугацаа, T_c^L, T_c^W -мөргөлдөөний улмаас суваг завгүй байх дундаж хугацаа, P_b -суваг завгүй байх магадлал, δ -хугацааны завсар.

В. DRL аргад суурилсан суваг хуваарилалтын бүтэц

Энэ хэсэгт DRL аргад суурилсан лицензгүй зурваст холимог сүлжээнд суваг хуваарилалтыг оновчлох аргыг санал болгож байна. Үүний тулд DRL аргаар агент буюу холимог сүлжээний төв удирдлагын суваг хуваарилалтыг оновчтой болгож хэрэглэгчийн дундаж нэвтрүүлэх чадамж болон нөөц ашиглалтыг сайжруулах зорилготой. DRL аргаар моделийг сургахын тулд холимог сүлжээнд шигүү суурилуулсан eNB болон AP байхаар эмулятор хөгжүүлж сургалтын орчин болгож ашигласан. Холимог сүлжээнд суваг хуваарилалтыг хэрэгжүүлэхдээ AP болон eNB-г нэгдсэн зохицуулгатайгаар удирдахаар агентыг ашигласан. Энд хэрэглэгчийн ирэх хурд, байршил, сувгийн өөрчлөлтийн мэдээлэл зэргээс шалтгаалан орчны төлвийн мэдээлэл эписодын турш байнга өөрчлөгдөнө. Тиймээс бусад уламжлалт аргатай харьцуулахад нэвтрүүлэх чадамжийг сайжруулахын тулд оновчтой суваг хуваарилалт хийхээр DRL аргыг ашигласан. Товчхондоо сувгийн оновчтой хуваарилалт нь хэрэглэгчийн дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг сайжруулах

ба интерференцийг бууруулж, багтаамжийг сайжруулна. Бидний хэрэгжүүлэх аргын хувьд загварчилсан DDQN агентыг сургахын тулд орчны бүх төлвийн мэдээлэлд харгалзах сувгийн өөрчлөлтийн мэдээллийг агент суралцана. Ингэснээр агент богино хугацаанд авч үзэж байгаа орчны AP болон eNB-д оновчтой суваг хуваарилалт хийх чадвартай болно. DRL аргыг хэрэгжүүлэхийн тулд эхлээд загварчилсан суваг хуваарилалтын өгөгдлийг MDP рүү хөрвүүлэх шаардлагатай [10]. Ерөнхийдөө MDP нь орчноос агентад өгөх оноо буюу шагналыг хамгийн их болгох дүрмийг тодорхойлно. Тиймээс зураг 2-д үзүүлснээр хэрэгжүүлэх орчинд суваг хуваарилалтын асуудлыг MDP шинж чанартайгаар S төлөв, A үйлдэл, шилжилтийн магадлал $p(S_{t+1}|S_t, A_t)$, шагналын функц $R_t(S_t, A_t)$ байдлаар илэрхийлнэ.



Зураг 2. Агент болон орчны харилцан үйлчлэл

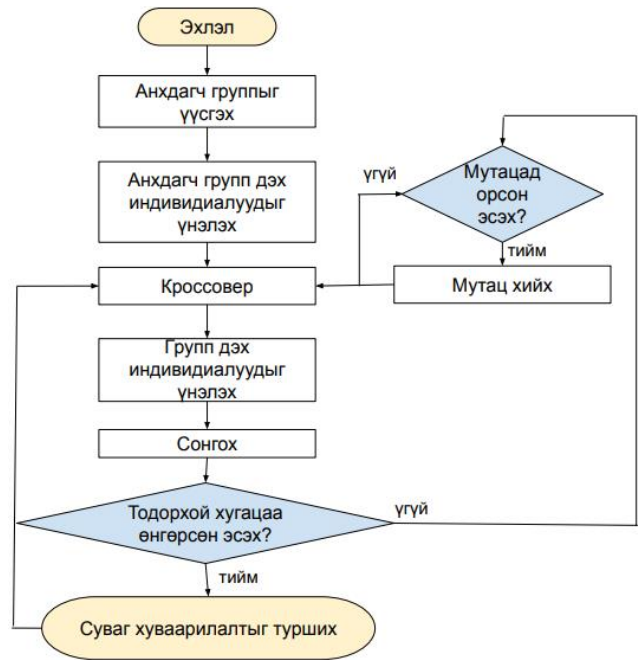
Энд агент нь нэгдсэн шийдэл гаргах үүрэгтэй “action-value” функцтэй байна. “Action-value” функц нь тухайн төлөвт (S_t) тодорхой үйлдэл (A_t) хийсний дараа боломжит системийн загварчлалын симуляторыг жава програм дээр хэрэгжүүлсэн ба DDQN агентыг сургахад уг симулятораас дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг шагнал R болгож авна. Холимог системийн S төлвийн мэдээллийг симулятоороос хүснэгт 1-т үзүүлснээр гаргаж авна.

AP ID	AP/NB байршил	Холбогдсон хэрэглэгчид	Багтаамж	Хамгийн их багтаамж	Хэрэглэгчийн байршил	Хуваарилагдсан суваг	Хэр-н нэвтрүүлэх чадамж
1	95	6	4.33	40	114	2	6.75
2	38	0	11	40	85	1	4.33
3	25	5	13.5	75	24	0	3.45
...
...
107	55	2	2.5	75	26	3	7.24

Энэ мэдээллийг DDQN агентийг сургах оролтын өгөгдөл болгож ашиглана. Энэ тохиолдолд оролтын өгөгдөл дискрет байх ба AP/BS-ийн индекс, AP/BS-д холбогдсон хэрэглэгчдийн тоо, тэдгээрийн байршлын мэдээлэл болон хуваарилагдсан суваг гэсэн дөрвөн элементээс бүрдэнэ. Оролтын өгөгдлийг DDQN -д өгөхөөс өмнө урьдчилан боловсруулна.

C. DDQN агентыг сургах

Утасгүй холимог сүлжээнд суваг хуваарилалтыг оновчтойгоор хэрэгжүүлэхийн тулд DDQN-нд суурилсан нэг агенттай DRL схемийг авч үзсэн. Үйлдэл A мэдээлэл нь дискрет, боломжит сувгийн нэгдэл байдлаар $A_t \in A = \{0,1,2,3\}$. Эдгээр A -аас оновчтой сувгийн хуваарилалтыг Epsilon Greedy алгоритмын дагуу, $\epsilon = 1$ үед санамсаргүй, $\epsilon = 0$ үед суралцсан дээрээ үндэслэсэн суваг хуваарилалтыг AP болон eNB BS бүрт хийнэ. Бидний санал болгож буй DRL-д суурилсан суваг хуваарилалтын арга нь агент болон орчин гэсэн хоёр үндсэн хэсгээс тогтоно. Орчин болон агент нь локал сервер, клиент байдлаар ажиллах ба эдгээрийн хооронд төлөв, үйлдэл, шагналын мэдээллийг зорьсон загвараа сургахын тулд дамжуулна. Загвараа сургах алгоритмыг зураг 4-т үзүүлэв.



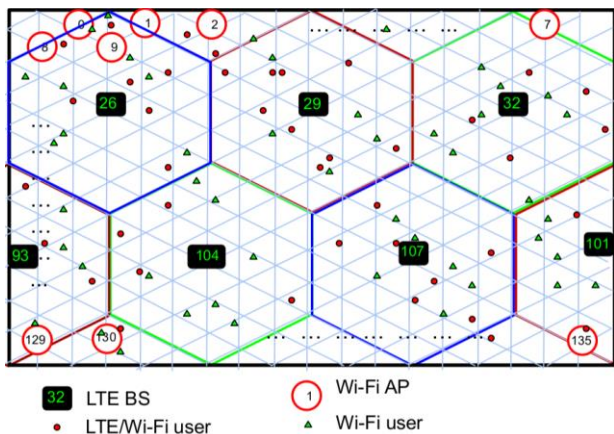
Зураг 3. DDQN-р суваг хуваарилалт хийх алгоритм

Энэ судалгааны ажлаар шагналын функц нь холимог сүлжээнд сувгийн хуваарилалтыг оновчлоход зориулж загварчлагдсан. Үүнийг холимог сүлжээг загварчилсан симулятоараас гаргаж авах ба дундаж нэвтрүүлэх чадамжаар илэрхийлэгдэх хугацааны бодит агшинд шагнал өгөх зориулалттай дискрет функц байна. Суваг хуваарилах процесс нь өгөгдсөн төлөв S_t -өөс дараагийн төлөв S_{t+1} -д $p(S_{t+1}, R_t | S_t, A_t) = P_r\{S_t = S_{t+1}, R_t = R_{t+1} | S_{t-1} = S_t, A_{t-1} = A_t\}$ шилжилтийн магадлалтайгаар шилжинэ. Сүүлийн AP-д суваг хуваарилалтыг туршсанаар тухайн эпизодын төгсгөл болж шагнал R_t -г тооцоолон, дараагийн эпизодод шинээр хуваарилалтыг турших байдлаар сургалт үргэлжилнэ. Үр дүнд нь агентыг бүрэн сургах ба сургасан агент AP/BS-д холбогдсон хэрэглэгчдийн тоо, байршлаас хамааран сувгийг оновчтой хуваарилах чадвартай болно.

IV. ГҮЙЦЭТГЭЛД ҮНЭЛЭЛТ ХИЙХ

A. Симуляцийн загварчлал

Симуляцийн загварчлалаар тэгш өнцөгт хэлбэртэй дотроо 288 жижиг гурвалжин дүрсээс бүрдэх талбайг [5] зураг 4-т үзүүлсэнээр авч үзсэн.



Зураг 4. Симуляцийн загварчлал

AP болон BS-ийн бүрхэлтийн талбай адилхан зөв зургаан өнцөгт хэлбэртэй дотроо 54 жижиг гурвалжин талбайгаас бүрдэнэ. Энд AP болон eNB BS-ийг байрлуулах боломжтой талбайн тоо 136 байна. Зураг 4-д үзүүлсэнээр нийт 7 (26, 29, 32, 93, 101, 104, 107 дугаартай) eNB BS-ийг улаан, ногоон, хөх өнгөөр дүрсэлсэн зөв зургаан өнцөгтийн төвд байрлуулсан ба бүрхэлт нь хоорондоо давхцахгүй. Харин Wi-Fi AP -ийг бусад байрлуулах боломжтой талбайд санамсаргүйгээр суурилуулна. Бүх жижиг талбай нь нэг болон түүнээс олон тооны Wi-Fi AP-ийн бүрхэлтэнд байна. Нийт боломжит сувгийн тоо 4 байх ба эхлээд AP-д санамсаргүйгээр хуваарилагдана. LTE BS нь гурван сувагтай, зэргэцээ eNB BS-уудад ижил суваг хуваарилахгүй, симуляцийн турш хуваарилагдсан суваг өөрчлөгдөхгүй. Хоёр төрлийн хэрэглэгчдийн жижиг талбайд ирэх харьцаа нь адил 1:1, холболтын үргэлжлэх хугацаа нь дунджаар 300сек байна.

ХҮСНЭГТ I. LTE BS БОЛОН Wi-Fi AP-ийн СИМУЛЯЦИЙН ПАРАМЕТРУУД

Пакетын хэмжээ	12800 бит
MAC толгойн мэдээлэл	272 бит
PHY толгойн мэдээлэл	128 бит
Баталгаажуулалт (ACK)	(112+ PHY толгой) бит
Wi-Fi битийн хурд	40 Mbps
LTE битийн хурд	75 Mbps
Слотын хугацаа	9 мксек
SIFS	16 мксек
DIFS	34 мксек

Холимог системийн гүйцэтгэлийг хүснэгт I [19]-ийн дагуу үнэлнэ.

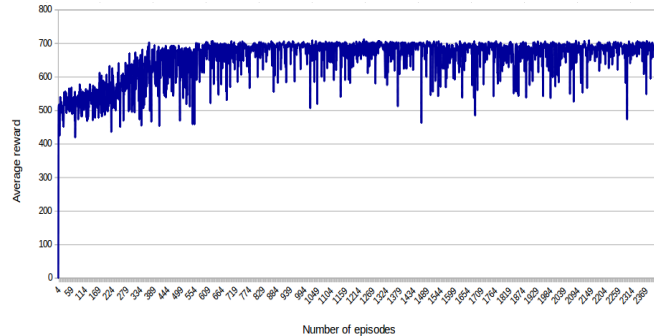
B. Сүлжээний бүтэц

DDQN алгоритмаар сувгийн хуваарилалт хийхийн тулд хуपरпараметрийн янз бүрийн утга дээр туршиж хамгийн сайн гүйцэтгэлтэй утгаар тохируулга хийж моделийг сургасан. Туршилтаас $\gamma = 0.99$, $\alpha = 0.00025$ байхаар сонгосон. Мөн санах ойн хэмжээ 100000, batch-ийн хэмжээг 512 байхаар 20 алхам бүрт сүлжээг шинэчлэхээр сонгосон. Веллмений тэгшитгэлээр Q-ийн хамгийн их утгатай үед оновчтой суваг хуваарилалтыг гаралтын давхарга дээр гаргана.

C. Сүлжээний бүтэц

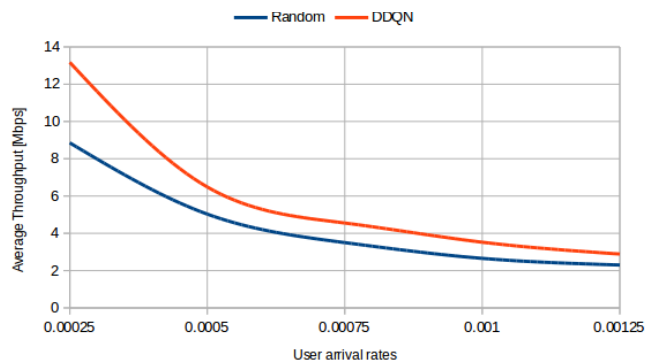
Тохируулсан параметрийн дагуу DDQN агентийг сургаж хамгийн их шагналын оноотой арван моделийг харьцуулж хамгийн өндөр гүйцэтгэлтэй моделийг сонгосон. Сонгосон моделийн гүйцэтгэлийн үр

дүнг зураг 5-д үзүүлсэн ба хэвтээ тэнхлэгт эпизодын тоог, босоо тэнхлэгт шагналын дундаж тоог харуулсан.



Зураг 5. Гаргаж авсан DDQN моделийн гүйцэтгэл (дундаж нэвтрүүлэх чадамжаар)

Дундаж нэвтрүүлэх чадамж нийлэхэд (converged), DDQN агент авч үзэж байгаа орчинг (environment) бүрэн судалж өгөгдсөн төлөвт оновчтой сувгийг хуваарилах боломжтой болно. Бид DDQN-д суурилсан суваг хуваарилалтын гүйцэтгэлийн үр дүнг $\epsilon = 1$ үед санамсаргүйгээр суваг хуваарилалтын үр дүнтэй харьцуулсан, зураг 6.



Зураг 6. Хэрэглэгчийн ирэх хурд ялгаатай үед дундаж нэвтрүүлэх чадамжийн харьцуулалт

Дээрх үр дүнгээс авч үзвэл бидний санал болгосон DDQN-д суурилсан арга санамсаргүй суваг хуваарилалтын аргатай харьцуулахад дундаж нэвтрүүлэх чадамж нь 25.5%-48.7% сайжирсан нь харагдаж байна. Энд хэрэглэгчийн ирэх хурдыг $\lambda = \{0.00025, 0.0005, 0.00075, 0.001, 0.00125\}$ гэж таван өөр хурдаар сонгосон. Харьцуулсан үр дүндээс авч үзвэл холимог сүлжээнд ирэх хэрэглэгчдийн тоо нэмэгдэхэд дундаж нэвтрүүлэх чадамж буурч байна.

V. ДҮГНЭЛТ, ЦААШИД ХИЙХ АЖЛУУД

Энэ судалгааны ажлаар холимог сүлжээнд DDQN-д суурилсан аргаар суваг хуваарилалтыг оновчилж дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг сайжруулахыг зорьсон. Үүнийг хэрэгжүүлэхийн тулд үүрэн болон Wi-Fi холимог сүлжээг загварчилж орчинг бий болгон эмулятор болгож ашигласан. Гаргаж авсан загварын үр дүнгээс харахад санал болгосон DDQN алгоритм дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг санамсаргүй аргатай харьцуулахад 25.5%-48.7%-р сайжруулсан.

Цаашид холимог сүлжээн дэх хэрэглэгчдийг хөдөлгөөнтэй байдлаар орчинг (эмуляторыг) загварчилж машин сургалтын бусад алгоритм ашиглан үр дүнг харьцуулалт хийнэ.

ABS	Almost Blank Subframe
APs	Access Points
BS	Base Station
CSAT	Carrier Sensing Adaptive Transmission
CSMA/CA	Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance
DDQN	Double Deep Q Networks
DL	Deep Learning
DQN	Deep Q Network
DRL	Deep Reinforcement Learning
eLAA	enhanced LAA
eNBs	eNodeBs
LAA	License Assisted Access
LBT	Listen Before Talk
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MDP	Markov Decision Process
ML	Machine Learning
NN	Neural Network
PHY	Physical Layer
RL	Reinforcement Learning
TCP	Transmission Control Protocol
UE	User Equipment
WLAN	Wireless Local Area Network

АШИГЛАСАН МАТРИАЛУУД

- Report ITU-R M.2370-0(07/2015) IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030, M Series Mobile, radio determination, amateur and related satellite services.
- Signals Research Group, "The prospect LTE Wi-Fi sharing unlicensed spectrum", Qualcomm, San Diego, CA, USA, White Paper, Feb. 2015.
- M. Agiwal, A. Roy, et al., "Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 1617-1655, third quarter 2016.
- F. Hu, B. Chen, et al., "Full Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks Toward 5G: A Survey" *IEEE Access*, vol. 6, pp. 15754-15776, 2018.
- Ragchaa B, Kinoshita K. Spectrum Sharing between Cellular and Wi-Fi Networks Based on Deep Reinforcement Learning. *International journal of Computer Networks & Communications*. 2023 Jan 30;15(01):123-43.
- G. Naik, J. Liu, et al., "Coexistence of Wireless Technologies in the 5 GHz Bands: A Survey of Existing Solutions and a Roadmap for Future Research", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol 20, pp. 1777-1798, 2018.
- S. Xu, Y. Li, et al., "Opportunistic Coexistence of LTE and WiFi for Future 5G System: Experimental Performance Evaluation and Analysis", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 8725-8741, 2018.
- B. Chen, J. Chen, et al., "Coexistence of LTE-LAA and Wi-Fi on 5 GHz with Corresponding Deployment Scenarios: A Survey", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1553-877X (c) 2016.
- C. Capretti, F. Gringoli, et al., "LTE/Wi-Fi Coexistence under Scrutiny: An Empirical Study", October 2016 Pages 33-40, <https://doi.org/10.1145/2980159.2980164>
- K. Kinoshita, K. Ginnan, et al., "Channel Assignment and Access System Selection in Heterogeneous Wireless Network with Unlicensed Bands", 2020 21st Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), pp. 96-101, 2020.
- J. Wszolek, S. Ludyga, et al., "Revisiting LTE LAA: Channel Access, QoS, and Coexistence with Wi-Fi", *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 2, pp. 91-97, February 2021.
- G. Naik, J. M. Park, et al., "Next Generation Wi-Fi and 5G NR-U in the 6 GHz Bands: Opportunities and Challenges", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 153027-153056, 2020..
- M. Alhulayil, M. López-Benítez, et al., "Novel LAA Waiting and Transmission Time Configuration Methods for Improved LTE-LAA/Wi-Fi Coexistence Over Unlicensed Bands", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 162373-162393, 2020.
- N. Bitar, O. Al Kalaa, et al., "On the Coexistence of LTE-LAA in the Unlicensed Band: Modeling and Performance Analysis", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 52668-52681, 2018.
- C. Chen, R. Ratasuk, et al., "Downlink Performance Analysis of LTE and WiFi Coexistence in Unlicensed Bands with a Simple Listen-Before-Talk Scheme", 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), pp. 1-5, 2015.
- V. Maglogiannis, A. Shahid, et al., "Enhancing the Coexistence of LTE and Wi-Fi in Unlicensed Spectrum Through Convolutional Neural Networks";
- M. Hirzallah, M. Krunzet, et al., "5G New Radio Unlicensed: Challenges and Evaluation", *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, vol. 7, no. 3, pp. 689-701, Sept. 2021.
- N. Najem, M. Martinez, et al., "Cognitive Radio Resources Scheduling using Multi-Agent Q-Learning for LTE", *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)* Vol.14, No.2, March 2022
- O. Naparstek, K. Cohen, et al., "Deep multi-user reinforcement learning for distributed dynamic spectrum access," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 18, no. 1, pp. 310-323, 2018.