

**UCHUVCHISIZ UCHISH APPARAT TARMOG'IDA OQIMLI MA'LUMOTLARNI
UZATISHNI RS-ARQ ALGORITMLARINI ISHLAB CHIQISH****Yusupov Bahodir Karamatovich**

t.f.f.d. (PhD), professor

Boboyev Nabi Tohir o'g'li

t.f.f.d. (PhD)

Komilov Alisher Abdumannob o'g'li

t.f.f.d. (PhD)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15648525>

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda uchuvchisiz uchish apparatlari (UUA) ishtirokidagi ortiqcha (overlay) tarmoqlarda oqimli ma'lumotlarni uzatishni boshqarish uchun moslashuvchan, bosqichli va muvozanatli marshrut tanlash mezonlariga asoslangan protokollar hamda yordamchi tugunni tanlash algoritmlari ishlab chiqildi. Tadqiqotda Pull-Push protokoliga mos keluvchi oqimli uzatish algoritmi va fragmentlarni tiklashga yo'naltirilgan ilova darajasidagi RS-ARQ algoritmi taklif etildi. Har bir tugun fragmentlar bazasi va buferdan foydalangan holda ma'lumot almashinuvini amalga oshiradi. Yordamchi tugun tanlovida raqobatbardosh, bashoratli va "ochko'z" mezonlar asosida tanlov strategiyalari ishlab chiqilgan. NS-3 muhiti yordamida turli marshrut tanlash algoritmlari hamda RS-ARQ algoritmining samaradorligi stasionar va harakatlanuvchi ssenariylar orqali modellashirildi.

Аннотация. В настоящем исследовании разработаны протоколы и алгоритмы выбора вспомогательного узла для управления передачей потоковых данных в избыточных (overlay) сетях с участием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), основанные на адаптивных, пошаговых и сбалансированных критериях выбора маршрута. В работе предложен алгоритм потоковой передачи, соответствующий протоколу Pull-Push, а также алгоритм RS-ARQ на прикладном уровне, направленный на восстановление утраченных фрагментов. Каждый узел обменивается данными, используя буфер и базу фрагментов. Для выбора вспомогательного узла разработаны стратегии на основе конкурентного, прогностического и жадного критериев. Эффективность алгоритмов выбора маршрута и RS-ARQ оценивалась с помощью моделирования в среде NS-3 в стационарных и мобильных сценариях.

Abstract. This study presents protocols and helper node selection algorithms for managing streaming data transmission in overlay networks involving unmanned aerial vehicles (UAVs), based on adaptive, stepwise, and balanced routing criteria. A Pull-Push compatible streaming transmission algorithm and an application-layer RS-ARQ algorithm aimed at fragment recovery are proposed. Each node performs data exchange using a fragment database and buffer. For helper node selection, strategies based on competitive, predictive, and greedy criteria are developed. The effectiveness of the routing algorithms and RS-ARQ mechanism is evaluated through NS-3 simulation in both stationary and mobile scenarios.

Qoplovchi tarmoqda oqimli ma'lumotlarni uzatish usuli ma'lumot fragmentlarini manzilgacha yetkazib berishni boshqaradi. Manzil sifatida tarmoqdagi istalgan tugun qaralishi mumkin. Har bir tugun talab qilinadigan fragmentlar uchun o'zining ma'lumotlar bazasiga ega va qo'shni tugunlardan so'rovlar kelib tushgani sari uni to'ldirib boradi. Tarmoqdagi barcha tugunlar tarmoq bo'ylab kontentni tarqatishning yagona vazifasini bajaradi. Har bir tugunning asosiy maqsadi – barcha zarur fragmentlarni qabul qilishdan iborat.

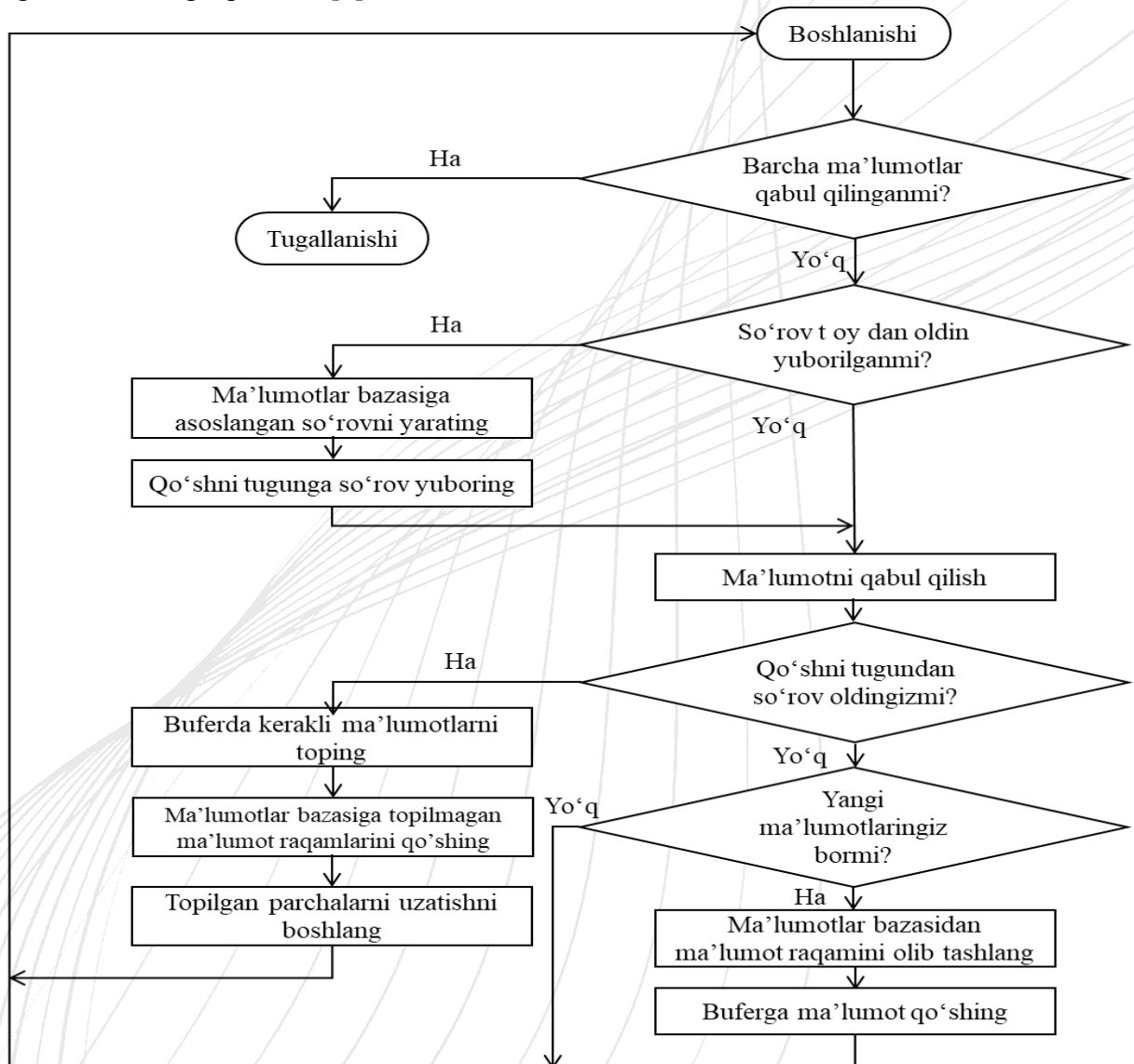
Mazkur holatda biz uzatilayotgan axborot blokini fragment deb ataymiz. O'zaro bog'liq

va ketma-ket joylashgan fragmentlar yig'indisini esa kontent deb ataymiz.

Algoritm ishining boshlanishida qabul qiluvchi tugun manba tuguniga kontent raqami va zarur bo'lgan fragmentlar raqamlarini ko'rsatgan so'rov yuboradi. Keyingi bosqichda qabul qiluvchi tugun ma'lumot so'rovini amalga oshirish uchun dasturiy va algoritmik vositalardan foydalanadi, manba va yordamchi tugun esa bu so'rovlarni bajarish uchun bir xil dasturiy ta'minotni qo'llaydi.

Algoritm bajarilishi davomida kontentning ortiqcha tarmoq ustiga taqsimlanishi yuz beradi. Har bir tarmoq tuguni kerakli fragmentlar raqamlarini saqlovchi ma'lumotlar bazasiga va allaqachon qabul qilingan fragmentlar saqlanuvchi buferga ega bo'ladi. Ma'lumotlar uzatish algoritmining blok-sxemasi 1-rasmda keltirilgan [1].

Faraz qilaylik, t soniya — bu ma'lumotlar bazasini tekshirish uchun oldindan belgilangan vaqt oralig'i. Har bir tarmoq tuguni har t soniyada o'z bazasini tekshiradi va mavjud ma'lumotlar asosida qo'shni tugunlarga kontent raqami va zarur bo'lgan fragmentlar raqamlarini o'z ichiga olgan so'rovlarni yuboradi. Fragmentni olgach, tugun uning raqamini bazadan o'chiradi va fragmentni buferga qo'shadi [2].

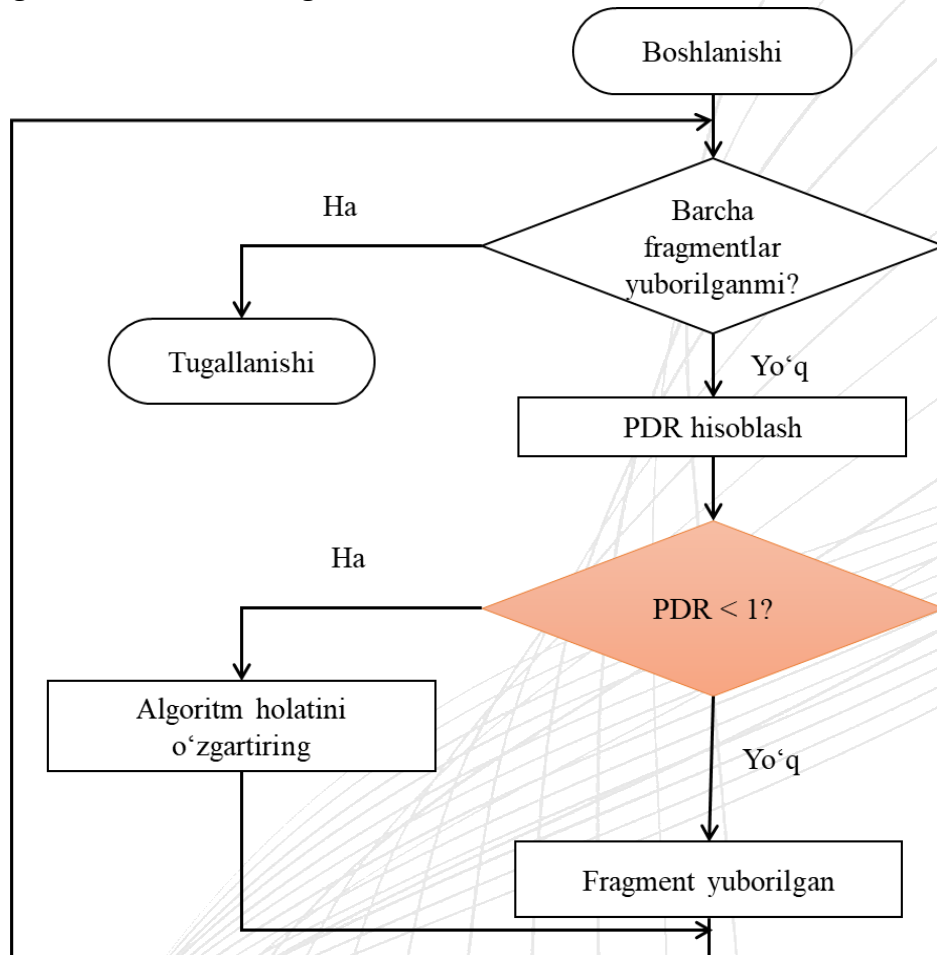


1 -rasm. Overlay tarmog'ida oqim ma'lumotlarini uzatish algoritmining blok-sxemasi.

Agar qo'shni tugundan so'rov kelib tushsa, tugun buferda kerakli fragmentlarni izlaydi,

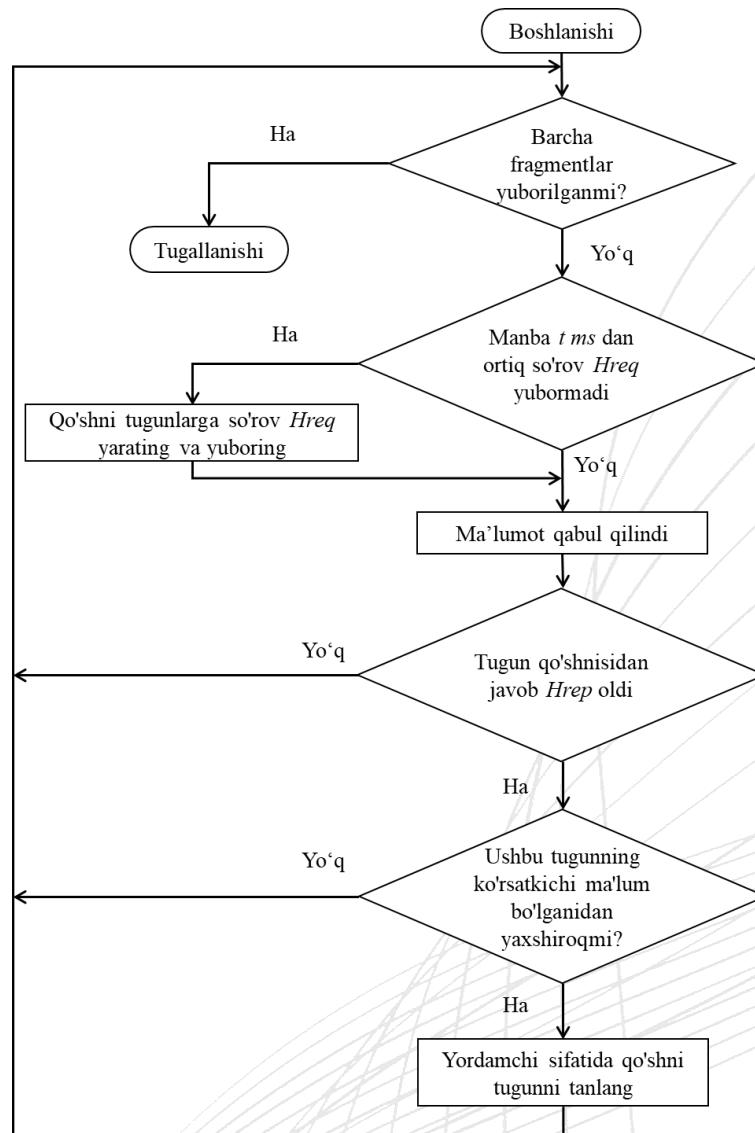
topilmagan fragmentlar raqamlarini o'z bazasiga qo'shadi va mavjud fragmentlarni qo'shni tugunga uzatishni boshlaydi. Barcha kerakli fragmentlar uzatilgach va baza bo'shab qolsa, algoritm o'z ishini yakunlaydi.

Ushbu taklif etilgan ortiqcha tarmoqda oqimli ma'lumot uzatish usulini amalga oshirish uchun *Pull-Push* protokoliga mos keluvchi algoritmni ishlab chiqish talab etiladi. 2-rasmda yordamchi tugunni tanlashda pog'onali mezon asosidagi ortiqcha tarmoqda marshrut tanlash algoritmining blok-sxemasini keltirilgan [3].



2-rasm. Yordamchi tugunni ishlatishning bosqichma-bosqich mezoniga ega bo'lgan qatlamli tarmoqdagi marshrutni tanlash algoritmining sxemasi.

Ushbu protokolni uch tugundan iborat ortiqcha tarmoq (manba, manzil va yordamchi tugun) ssenariysi uchun ishlab chiqishda quyidagi algoritmlar taklif etiladi, ular ma'lumotlar uzatishning turli bosqichlarini tavsiflaydi: ortiqcha tarmoqda yordamchi tugun orqali oqimli ma'lumotlarni uzatish algoritmi va fragmentlarni tiklash algoritmi [4].



3-rasm. Yordamchi tugunni tanlash algoritmining blok diagrammasi.

Pog'onali va moslashuvchan mezonlar har bir fragmentning SD va SRD marshrutlari haqidagi ma'lumotlarga asoslangan holda uzatilishini belgilaydi. SD marshruti bo'yicha uzatilayotganda fragment to'g'ridan-to'g'ri manzil tuguniga yo'naltiriladi. SRD marshruti bo'yicha esa fragment avval yordamchi tugunga yuboriladi, u esa fragmentni manzilga qayta yo'naltiradi [5]. Moslashuvchan mezon ilgari o'lchangan PDR metrikasi qiymatlarini hamda SD va SRD marshrutlari uchun mavjud ko'rsatkichlarni hisobga oladi. Pog'onali mezon esa faqat joriy metrika qiymatiga asoslanadi. Muvozanatli mezon asosidagi marshrut tanlash algoritmi esa fragmentlarning yarmisini manzilga to'g'ridan-to'g'ri, qolgan yarmisini yordamchi tugun orqali yuborishni ko'zda tutadi.

Yordamchi tugunni tanlashning optimal mezoni SD va SRD marshrutlarining uzunligini kamaytirishga imkon beradi, bu esa pastki darajadagi marshrutlash protokoli (AODV yoki OLSR) uchun ahamiyatlidir.

Raqobatbardosh mezon — bu mezon manba tuguni so'rov yuborganidan so'ng unga eng birinchi bo'lib javob bergan tugunni yordamchi tugun sifatida tanlashga asoslanadi. Ya'ni, tugunlar orasida qay biri Hreq kengaytirilgan so'roviga eng tez (javob vaqti t_a) javob qaytarsa, aynan shu tugun yordamchi tugun sifatida tanlab olinadi [6].

Manba tugun kengaytirilgan Hreq xabarini uzatadi, unga javoban qo'shni tugunlar Hrep javob xabarida o'z koordinatalarini yuboradi. Manba tugun har bir qo'shni tugun uchun L_d metrikaning qiymatini — ya'ni qo'shni tugundan qabul qiluvchigacha bo'lgan masofani hisoblaydi. Ushbu hisoblangan metrika asosida yordamchi tugun aniqlanadi: u tugunki, hozirgi vaqtda qabul qiluvchigacha bo'lgan masofasi eng kichik bo'ladi.

UUALarning o'z-o'zini tashkil qiluvchi tarmog'ida tugunlarning yuqori harakatchanligini inobatga olish uchun yordamchi tugunni tanlashda bashoratli mezondan foydalanish taklif etiladi. Taklif qilinayotgan mezon tugunlarning hozirgi joylashuvini emas, balki belgilangan vaqt oralig'idan keyingi holatini hisobga oladi. Bu bashorat tugunning hozirgi koordinatalari, harakat tezligi va yo'nalishi asosida amalga oshiriladi.

Qattiq qanotli UUA dan foydalanilganda, ular harakat yo'nalishini nisbatan sekin o'zgartiradi. Bunday holatda, bashorat oralig'i t_p orqali hisoblangan koordinatalar yordamchi tugunni tanlash algoritmidan qo'llanilishi mumkin [7].

Metrika sifatida, qo'shni tugunning taxminiy joylashuvidan manzil (qabul qiluvchi) tugunning oldindan ma'lum joylashuvigacha bo'lgan masofa olinadi. Manba tugun barcha qo'shni tugunlarga kengaytirilgan Hreq so'rovini yuboradi. Hreq so'rovini qabul qilgan har bir qo'shni tugun o'zining joriy joylashuvini, tezligini va harakat yo'nalishini biladi.

Shu ma'lumotlar asosida bashorat oralig'i t_p orqali tugunning geografik joylashuvi hisoblab chiqiladi. Har bir qo'shni tugun o'zining bashoratlangan koordinatalarini manba tugunga yuboradi. So'ng algoritmi har bir qo'shni tugun uchun metrikaning hisoblaydi va eng yaxshi metrika qiymatiga ega tugunni yordamchi tugun sifatida tanlaydi [8].

Ushbu mezonni amaliy UUA tarmog'ida amalga oshirish uchun tugunlarning geografik koordinatalarini — ya'ni kenglik (θ), uzunlik (ϕ) va dengiz sathidan balandlik (h) — aniqlash lozim. Qo'shni tugunlar H_{rep} xabarida o'z koordinatalarini uzatadi, manba tugun esa har bir tugundan manzilgacha bo'lgan masofani hisoblab, ushbu metrika asosida yordamchi tugunni aniqlaydi.

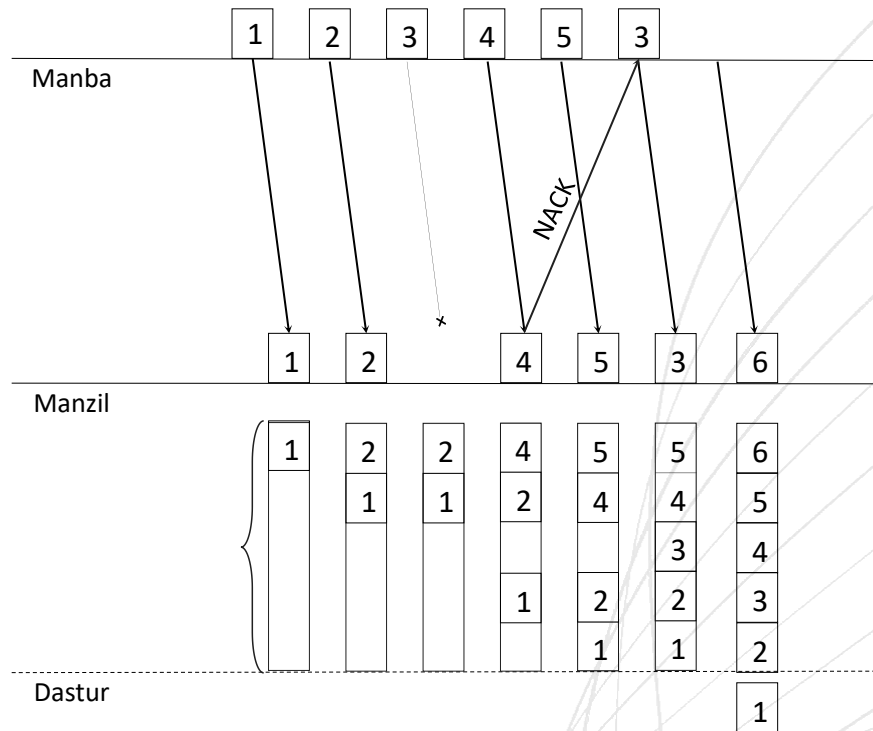
Imitation modellashtirishda esa koordinatalar (x,y,z) ko'rinishida olinadi va tegishli formulalar orqali ishlanadi.

Ma'lumotlar uzatish sifatini oshirish uchun OSI modeli darajalarida amalga oshirilgan qayta so'rov algoritmidan foydalanish mumkin. 802.11 standartlari oilasida qayta so'rov algoritmi kanal darajasida qo'llaniladi. Ammo, tarmoqli (overlay) tarmoqlarda qo'llash uchun ushbu algoritmi OSI modelining ilova (application) darajasida amalga oshirish taklif etiladi.

Dissertatsiya tadqiqot doirasida UUA tarmog'ida yo'qotilgan fragmentlar uchun qayta uzatishni amalga oshiruvchi RS-ARQ algoritmi ishlab chiqilgan.

Taqdim etilayotgan RS-ARQ algoritmi tanlab qayta so'rov asosidagi uzatish usuliga (ing. *Selective-Repeat ARQ*) asoslangan. Ushbu algoritmda qabul qiluvchi (adresat) fragmentlar sarlavhasidagi raqamlar (SN) orqali yo'qotilgan fragmentlarni aniqlaydi va ularni manbadan qayta so'rashni amalga oshiradi. Buning uchun adresat maxsus NACK xabarlarini shakllantiradi, bu xabarlar o'z ichiga yo'qotilgan fragmentlar raqamlarini oladi (4-rasm). Agar oldindan belgilangan

RTO (Retransmission Timeout) vaqt oraligi davomida so'ralgan fragment qabul qilinmasa, adresat NACK xabarini takrorlaydi. Adresat fragmentlar muhimligini yo'qotmaguncha ularni qayta so'rashda davom etadi.

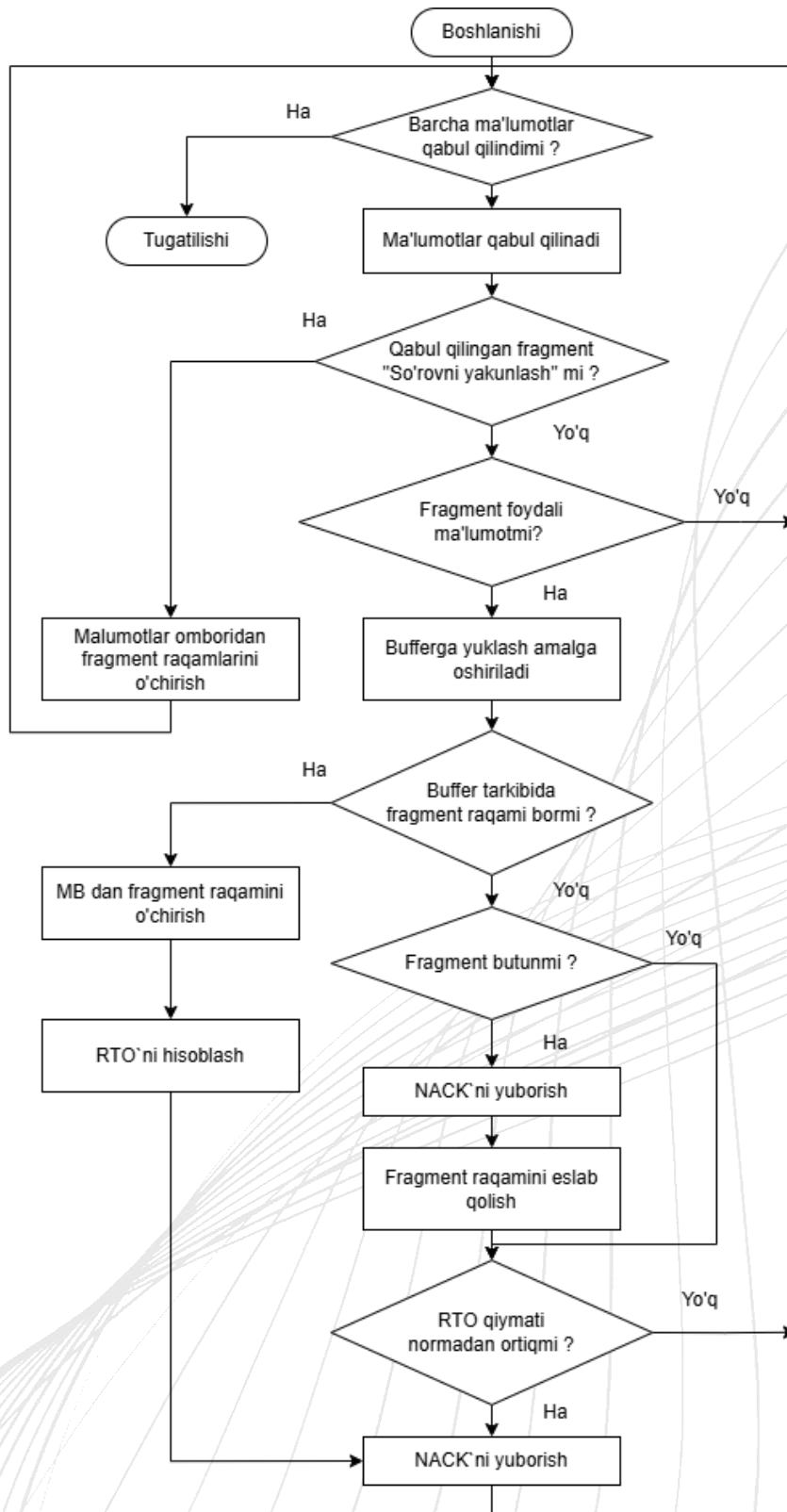


4-rasm. SR-ARQ paketi tuzilmasi.

Ushbu algoritmnı amalga oshirish uchun ikkita bufer zarur: biri adresat tomonida, ikkinchisi manba (uzatuvchi) tomonida. Adresat tomonidagi bufer fragmentlarning ketma-ketligini saqlash uchun xizmat qiladi, chunki ular qayta so'rov algoritmi va ehtimoliy jitter tufayli tartibsiz kelib tushishi mumkin. Manba tomonidagi bufer esa fragmentlarni saqlaydi, ular qayta so'rovga javob berish uchun mavjud bo'lishi kerak. Algoritm RTO vaqt oraliğini RTT (Round-Trip Time – uzatish va javob vaqtining yig'indisi) statistikasi asosida aniqlaydi, bu vaqt adresatdan NACK xabarini olishgacha bo'lgan uzatish davrini bildiradi.

Agar manba buferida zarur fragmentlar mavjud bo'lmasa, u holda manba adresatga mazkur fragmentlar bo'yicha so'rovni to'xtatishni so'rab, xabar yuboradi. Ushbu xabarni olgan adresat, unda ko'rsatilgan raqamlarni o'zining yo'qolgan ma'lumotlar bazasidan o'chiradi.

5-rasmda adresatdagi bufer va yo'qolgan ma'lumotlar bazasi o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik blok-sxema ko'rinishida aks ettirilgan. Adresat qabul qilingan fragmentlarni buferda saqlaydi va ularni raqamlar bo'yicha tartiblaydi. Buferga yangi fragment kelganda, adresat uning ketma-ketligini tekshiradi va agar yo'qolgan fragmentlar aniqlansa, ularning tartib raqamlarini yo'qolgan ma'lumotlar bazasiga qo'shadi. Ushbu bazaga asoslanib, manbaga yuboriladigan NACK xabari shakllantiriladi.



5-rasm. RS-ARQ algoritmi blok sxemasi.

Ushbu algoritmnining asosiy vazifasi — fragmentlar yo‘qolishini aniqlashdan iborat. Agar yangi fragment to‘g‘ri ketma-ketlikda kelmasa (ya’ni, u oldingi fragment raqamiga teng bo‘lmasa yoki undan bitta katta bo‘lmasa), u holda ushbu fragmentlar yo‘qolganlar bazasiga kiritiladi va har RTO soniyada qayta so‘raladi.

RTO (Retransmission Timeout) vaqt oralig‘i fragment manzilga yetib kelgan vaqt asosida

hisoblanadi, agar bu fragment haqida ma'lumotlar ma'lumotlar bazasida mavjud bo'lsa. Agar manbada zarur fragmentlar buferda mavjud bo'lmasa, u holda u adresatga maxsus xabar yuborishi mumkin, va yo'qolgan fragmentlar haqidagi yozuvlar uning ma'lumotlar bazasidan o'chirib yuboriladi. Taklif etilgan algoritmda buferning maksimal hajmi ish boshlanishidan oldin sozlanadi va u adresatda uzluksiz uzatilayotgan ma'lumotlarni qayta ijro etishdan oldingi maksimal kechikishni belgilaydi. Bu kechikish uzatish tezligi oldindan ma'lum bo'lgan sharoitda aniqlanadi.

Oqimli ma'lumotlarni qayta ijro etishdan oldingi maksimal kechikish ITU-T talablariga muvofiq xizmat ko'rsatish sifati sinfini belgilaydi va 1 soniyagacha bo'lishi mumkin. Aks holda, videotranslyatsiya sinfsiz (ya'ni, noaniq xizmat sifati bilan) hisoblanadi.

Tadqiqot natijalari yordamchi tugun tanlash strategiyasi va marshrut tanlash mezonlarining oqimli uzatish samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini ko'rsatdi. Moslashuvchan mezon stasionar ssenariyda yuqori samaradorlikni ta'minlasa, harakatlanuvchi tugunli ssenariyda u o'z ustunligini yo'qotadi. RS-ARQ algoritmi esa fragmentlarni yo'qotmasdan uzatishda ishonchlilikni oshirishga xizmat qilmoqda. Bu algoritm orqali ilova darajasida selektiv qayta so'rov asosida ma'lumot uzatish kechikishini nazorat qilish va xizmat sifati talablarini qondirish imkoniyati yaratiladi. Ushbu yondashuvlar UUA tarmoqlarida video oqimlarni uzatish ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi va amaliy jihatdan qo'llanilishi mumkin.

REFERENCES

1. Vasiliev, D. S. Relaying Algorithms with ARQ in Flying Ad hoc Networks / D. S. Vasiliev, A. V. Abilov // Proceedings of IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015). May 21-23, Omsk, Russia, 2015. — Omsk, 2015.
2. Lin S. Error Control Coding / Shu Lin, D. Costello // 2nd Edition, ISBN: 0130426725, — Prentice-Hall. — 2024.
3. Романов, С. В. Симуляторы беспроводных MANET-сетей / Жолобов А.Н., 123 Прозоров Д.Е., Романов С.В. // Инфокоммуникационные технологии, 2022. — №3. — С.28-33. [32] Sorokin A. A study of packet delivery performance in MANETs with OLSR protocol using NS-3 / A. Sorokin, D. S. Vasiliev, A. V. Abilov // Proceedings of the 4th Forum of Young Researchers in the Framework of International Forum "Education Quality – 2014". – Izhevsk, Russia, 2014. –P. 399–404 / – ISBN 978-5-7526-0649-6.
4. Chappell, L. Wireshark Network Analysis The Official Wireshark Certified Network Analyst Study Guide / Laura Chappell // Protocol Analysis Institute, "Chappell University" — 2012. — ISBN 978-1-893939-94-3.
5. Meitis, D. Simulation of MANETs routing protocols for UAVs / D. Meitis, D. Vasiliev, A. Abilov // In Proceedings of the 4th Forum of Young Researchers in the Framework of International Forum "Education Quality – 2014". April 23, Izhevsk, Russia. – 2014. – P. 358–363.
6. Chappell, L. Wireshark Network Analysis The Official Wireshark Certified Network Analyst Study Guide / Laura Chappell // Protocol Analysis Institute, "Chappell University" — 2012. — ISBN 978-1-893939-94-3.

7. Broyles, D. Design and Analysis of a 3-D Gauss-Markov Mobility Model for Highly Dynamic Airborne Networks. / D. Broyles, A. Jabbar, J. Sterbenz // Proceedings of the International Telemetering Conference – San Diego, CA, 2020.
8. Vasiliev, D. Simulation-based Comparison of AODV, OLSR and HWMP Protocols for Flying Ad Hoc Networks. / D. Vasiliev, D. Meitis, A. Abilov // In Proceedings of NEW2AN/ruSMART 2024. LNCS 8638, Springer International Publishing Switzerland. – 2024. – P. 245-252.