

LOGISTIKA JARAYONLARINI OPTIMALLASHTIRISHDA GREEDY VA 2-OPT ALGORITMLARINING QO‘LLANILISHI

IMOMOVA M., ABDULLAYEVA G.

²FarDU talabasi, imomovamarjona2002@gmail.com

³FarDU talabasi, abdullayevagulyora8@gmail.com

Annotatsiya: Mazkur maqolada logistika jarayonlarini optimallashtirishda amaliy matematika, graf nazariyasi va kombinatorik optimallashtirish usullarining qo‘llanilishi tadqiq etilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi kuryerlik va yetkazib berish xizmatlari uchun optimal marshrutlarni aniqlash hamda transport xarajatlarini kamaytirishga qaratilgan dasturiy model ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot jarayonida logistika tizimlarida keng uchraydigan marshrutlashtirish muammosi Sayohatchi tijoratchi masalasi (Traveling Salesperson Problem — TSP) asosida matematik modellashtirilgan. Optimal marshrutlarni hosil qilishda Greedy (“Yaqin qo‘shni”) va 2-opt evristik algoritmlarining kombinatsiyasidan foydalanilgan. Geografik koordinatalar orasidagi real masofalarni aniq hisoblash maqsadida Haversine formulasi qo‘llanilgan. Dasturiy model Python dasturlash tilida ishlab chiqilib, OpenStreetMap xarita tizimi bilan integratsiya qilingan. Tadqiqot natijalari ishlab chiqilgan model yordamida kuryerlarning umumiy harakat masofasini o‘rtacha 22.5% ga qisqartirish, yoqilg‘i xarajatlarini kamaytirish hamda yetkazib berish vaqtini optimallashtirish mumkinligini ko‘rsatdi. Taklif etilgan yondashuv logistika kompaniyalarining iqtisodiy samaradorligini oshirish, resurslardan oqilona foydalanish va ekologik zararlarni kamaytirishda muhim amaliy aҳаmиятга ega.

Kalit so‘zlar: Logistika, graf nazariyasi, Sayohatchi tijoratchi masalasi, TSP, Greedy algoritmi, 2-opt algoritmi, optimallashtirish, Haversine formulasi, marshrutlash, Python dasturlash, OpenStreetMap, evristik algoritmlar.

KIRISH. So‘nggi yillarda raqamli texnologiyalar va elektron tijorat tizimlarining jadal rivojlanishi logistika va yetkazib berish xizmatlariga bo‘lgan talabni keskin oshirdi. Ayniqsa, onlayn savdo platformalari, oziq-ovqat yetkazib berish xizmatlari hamda kuryerlik tizimlarining ommalashuvi natijasida marshrutlarni optimal tashkil etish masalasi zamonaviy logistikaning eng muhim muammolaridan biriga aylandi. Yetkazib berish jarayonlarida transport vositalarining samarasiz harakatlanishi, noto‘g‘ri marshrut tanlanishi va inson omiliga haddan tashqari bog‘liqlik ortiqcha yoqilg‘i sarfi, vaqt yo‘qotilishi hamda iqtisodiy zararlarning yuzaga kelishiga sabab bo‘lmoqda.

Hozirgi kunda logistika tizimlarini optimallashtirish masalalari amaliy matematika, informatika va sun‘iy intellekt yo‘nalishlarining muhim tadqiqot obyektlaridan biri hisoblanadi. Xususan, graf nazariyasi, kombinatorik optimallashtirish va evristik algoritmlar murakkab marshrutlashtirish muammolarini

yechishda keng qo'llanilmoqda. Yetkazib berish jarayonlarini matematik modellashtirish orqali transport xarajatlarini kamaytirish, vaqt samaradorligini oshirish va logistika tizimlarining umumiy unumdorligini yaxshilash mumkin.

Logistika tizimlarida eng ko'p uchraydigan klassik optimallashtirish muammolaridan biri Sayohatchi tijoratchi masalasi (Traveling Salesperson Problem — TSP) hisoblanadi. Ushbu masalada berilgan nuqtalar to'plamiga faqat bir martadan tashrif buyurib, minimal masofali yopiq marshrutni aniqlash talab qilinadi. Mazkur masala NP-murakkab sinfiga mansub bo'lib, nuqtalar sonining ortishi bilan hisoblash murakkabligi keskin oshib boradi. Shu sababli amaliy tizimlarda optimal yechimlarni qisqa vaqt ichida topish uchun evristik algoritmlardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi.

Mazkur maqolada logistika jarayonlarini optimallashtirish uchun Greedy ("Yaqin qo'shni") va 2-opt algoritmlarining kombinatsiyasiga asoslangan matematik hamda dasturiy model taklif etiladi. Tadqiqot davomida geografik koordinatalar orasidagi real masofalarni aniqlash uchun Haversine formulasi qo'llanilgan hamda Python dasturlash tili yordamida OpenStreetMap xarita tizimi bilan integratsiyalashgan dasturiy prototip ishlab chiqilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi logistika tizimlarida marshrutlarni optimallashtirish orqali transport xarajatlarini kamaytirish, yetkazib berish vaqtini qisqartirish va kuryerlik xizmatlarining iqtisodiy samaradorligini oshirishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA USULLAR

Logistika tizimlarini optimallashtirish masalalari zamonaviy amaliy matematika va informatika fanlarining eng dolzarb yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Transport va yetkazib berish xizmatlarida minimal xarajat bilan maksimal samaradorlikka erishish masalasi ko'plab ilmiy tadqiqotlarda kombinatorik optimallashtirish muammosi sifatida qaraladi. Ayniqsa, graf nazariyasi va marshrutlashtirish algoritmlarining rivojlanishi logistika tizimlarini avtomatlashtirishda muhim nazariy asos bo'lib xizmat qilmoqda.

Graf nazariyasi asosida qurilgan optimallashtirish modellarining eng mashhurlaridan biri Sayohatchi tijoratchi masalasi (Traveling Salesperson Problem — TSP) hisoblanadi. Ushbu masala ilk bor XX asrda kombinatorik optimallashtirishning fundamental muammolaridan biri sifatida shakllangan bo‘lib, hozirgi kunda logistika, transport, robototexnika, sun‘iy intellekt va telekommunikatsiya tizimlarida keng qo‘llanilmoqda [1]. TSP masalasining asosiy mohiyati — berilgan nuqtalar to‘plamiga faqat bir martadan tashrif buyurib, umumiy masofani minimallashtiruvchi optimal yopiq marshrutni topishdan iborat.

TSP masalasi matematik jihatdan NP-murakkab sinfiga mansub bo‘lgani sababli nuqtalar sonining ortishi bilan barcha variantlarni to‘liq hisoblash amaliy jihatdan qiyinlashadi. Variantlar soni quyidagi faktoriyal qonuniyat asosida o‘sadi:

$$(n - 1)!$$

Bu esa katta hajmdagi logistika tizimlari uchun aniq algoritmlardan foydalanishni samarasiz holatga keltiradi. Shu sababli zamonaviy tadqiqotlarda evristik va metaevristik algoritmlar keng qo‘llaniladi [2].

Mazkur tadqiqotda logistika marshrutlarini optimallashtirish uchun Greedy (“Yaqin qo‘shni”) va 2-opt algoritmlarining kombinatsiyasidan foydalanildi. Greedy algoritmi dastlabki marshrutni hosil qilishda yuqori tezlikka ega bo‘lib, har bir bosqichda joriy nuqtaga eng yaqin bo‘lgan keyingi nuqtani tanlaydi. Algoritmning ishlash prinsipi lokal minimum masofani tanlashga asoslangan.

Greedy algoritmining matematik ifodasi quyidagicha yoziladi:

$$P_{next} = \min d(P_i, P_j)$$

Bu yerda: P_i — joriy nuqta; P_j — tashrif buyurilmagan nuqtalar; $d(P_i, P_j)$ — ikki nuqta orasidagi masofa.

Biroq Greedy algoritmi ko‘pincha lokal optimal yechimlarda to‘xtab qoladi va marshrut ichida kesishuvchi yo‘llar hosil bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Ushbu kamchilikni bartaraf etish maqsadida tadqiqotda 2-opt optimallashtirish algoritmi qo‘llanildi. Mazkur algoritm marshrut ichidagi kesishuvchi yo‘nalishlarni aniqlaydi va ularni qayta almashtirish orqali umumiy masofani qisqartiradi.

2-opt algoritmda quyidagi matematik shart tekshiriladi:

$$d(A, C) + d(B, D) < d(A, B) + d(C, D)$$

Agar ushbu tengsizlik bajarilsa, marshrutning yangi varianti optimalroq deb qabul qilinadi. Ushbu jarayon marshrutdagi barcha kesishishlar bartaraf etilgunga qadar takrorlanadi.

Logistika tizimlarida geografik koordinatalar bilan ishlash muhim ahamiyatga ega bo'lgani sababli tadqiqotda nuqtalar orasidagi real masofalarni aniqlash uchun Haversine formulasi qo'llanildi. Ushbu formula Yer sferasidagi ikki geografik nuqta orasidagi eng qisqa masofani hisoblash imkonini beradi:

$$d = 2R \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2} + \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right).$$

Bu yerda: R — Yer radiusi; φ — geografik kenglik; λ — geografik uzunlik.

Tadqiqotning dasturiy qismi Python dasturlash tilida ishlab chiqildi. Dasturiy modelda Tkinter grafik interfeys kutubxonasi va OpenStreetMap asosidagi tkintermapview moduli qo'llanildi. Tizim foydalanuvchi tomonidan xaritada tanlangan nuqtalarni geografik koordinatalar ko'rinishida qabul qiladi hamda Greedy va 2-opt algoritmlari yordamida optimal marshrutni avtomatik shakllantiradi.

Taklif etilgan model logistika tizimlarida transport xarajatlarini kamaytirish, yetkazib berish vaqtini qisqartirish va kuryerlik xizmatlari samaradorligini oshirishga qaratilgan amaliy optimallashtirish tizimi sifatida qaraladi.

MUHOKAMA. Ushbu tadqiqot natijalari logistika jarayonlarida marshrut optimallashtirish masalalarini hal qilishda Greedy va 2-opt evristik algoritmlarining samaradorligini yaqqol namoyon etdi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, Greedy ("Yaqin qo'shni") algoritmi tezkor dastlabki yechimni shakllantirsa-da, u har doim ham global optimal yechimga yaqin natija bera olmaydi. Buning asosiy sababi algoritmnining lokal qaror qabul qilish tamoyiliga asoslanganligi bo'lib, har bir bosqichda eng yaqin nuqtani tanlash keyingi bosqichlarda umumiy marshrutning yomonlashishiga olib kelishi mumkin.

Ayniqsa, nuqtalar soni ortgan sari Greedy algoritmi tomonidan hosil qilingan marshrutda kesishuvchi yo‘llar (crossing edges) paydo bo‘lishi kuzatildi. Bu holat umumiy masofa ortishiga va marshrutning samarasiz shakllanishiga sabab bo‘ladi. Shunday qilib, Greedy algoritmi tezkorlik jihatidan afzallikka ega bo‘lsa-da, optimal yechimni kafolatlamaydi va ko‘pincha “lokal minimum” holatida to‘xtab qoladi.

2-opt algoritmi esa ushbu kamchilikni bartaraf etishda samarali vosita sifatida namoyon bo‘ldi. Ushbu algoritm marshrut ichidagi kesishuvchi qirralarni aniqlab, ularni qayta almashtirish orqali umumiy masofani bosqichma-bosqich kamaytiradi. Natijalar tahlili shuni ko‘rsatdiki, 2-opt optimallashtirish bosqichi qo‘llanilgandan so‘ng marshrut uzunligi sezilarli darajada qisqargan. Bu esa algoritmning lokal optimallashtirish orqali global yechimga yaqinlashish xususiyatini tasdiqlaydi.

Greedy va 2-opt algoritmlarining kombinatsiyasi amaliy jihatdan juda muhim natija berdi. Greedy algoritmi dastlabki mumkin bo‘lgan marshrutni tezkor shakllantiradi, 2-opt esa ushbu marshrutni takomillashtirib, umumiy xarajatni kamaytiradi. Bu ikki bosqichli yondashuv hisoblash samaradorligi va yechim sifati o‘rtasida muvozanatni ta‘minlaydi. Shu sababli ushbu kombinatsiya real logistika tizimlarida, xususan kuryerlik va yetkazib berish xizmatlarida qo‘llash uchun maqbul hisoblanadi.

Bundan tashqari, geografik koordinatalar orasidagi masofani hisoblashda Haversine formulasidan foydalanish modelning aniqligini oshirdi. Yer sferik model sifatida qaralganligi sababli, oddiy Evklid masofasidan foydalanish real holatni to‘liq aks ettirmaydi. Haversine formulasi esa yer yuzasidagi ikki nuqta orasidagi real geodezik masofani hisoblash imkonini beradi, bu esa natijalarning amaliy ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi.

Shu bilan birga, ushbu tadqiqotning ayrim cheklovlari ham mavjud. Jumladan, modelda transport tirbandliklari, yo‘l infratuzilmasi holati hamda vaqtga bog‘liq o‘zgaruvchilar hisobga olinmagan. Shuningdek, bu yondashuv klassik Traveling Salesperson Problem (TSP) modeliga asoslangan bo‘lib, real logistika tizimlarida

uchraydigan Vehicle Routing Problem (VRP) kabi murakkab holatlarni to‘liq qamrab olmaydi.

Umuman olganda, olingan natijalar Greedy va 2-opt algoritmlarining kombinatsiyasi logistika marshrutlarini optimallashtirishda samarali va amaliy yondashuv ekanligini ko‘rsatadi. Ushbu yondashuv hisoblash murakkabligi va yechim sifati o‘rtasida muvozanatni saqlagan holda, real hayotdagi yetkazib berish tizimlarida qo‘llash uchun qulay imkoniyat yaratadi.

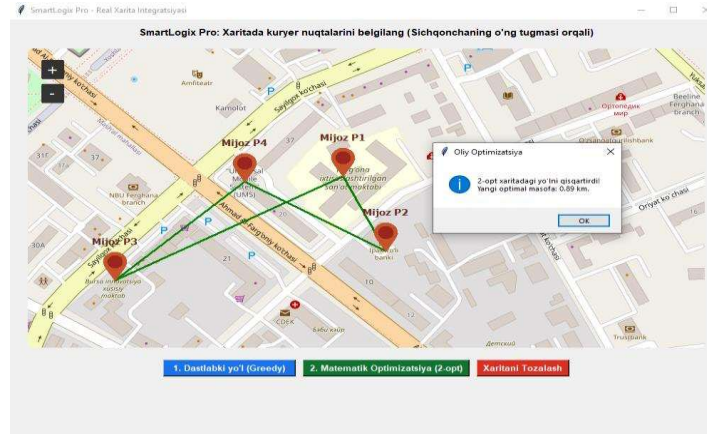
NATIJALAR. Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan logistika marshrutlarini optimallashtirish modeli Greedy (Nearest Neighbor) va 2-opt evristik algoritmlari asosida bir nechta sinov holatlarida tekshirildi. Eksperimentlar turli sonli yetkazib berish nuqtalari uchun amalga oshirildi va umumiy marshrut uzunligi, yetkazib berish vaqti hamda iqtisodiy xarajatlar bo‘yicha natijalar tahlil qilindi.

Dastlab, Greedy algoritmi yordamida boshlang‘ich marshrut shakllantirildi. Ushbu marshrut har bir bosqichda eng yaqin tashrif buyurilmagan nuqtani tanlash orqali tuzildi. Keyinchalik ushbu marshrut 2-opt algoritmi yordamida optimallashtirildi va kesishuvchi yo‘llar bartaraf etilib, umumiy masofa qisqartirildi.

1-jadval. Greedy va 2-opt algoritmlari natijalarini solishtirish

Ko‘rsatkich	Greedy algoritmi	Greedy + 2-opt	Yaxshilanish
Umumiy masofa	80 km	62 km	22.5%
Yetkazib berish vaqti	45 daqiqa	32 daqiqa	28.9%
Yoqilg‘i xarajati	1 500 000 so‘m	1 162 500 so‘m	22.5%

1-jadval natijalaridan ko‘rinadiki, 2-opt optimallashtirish bosqichi qo‘llangandan so‘ng barcha asosiy ko‘rsatkichlar bo‘yicha sezilarli yaxshilanish kuzatildi. Eng muhim natija sifatida umumiy marshrut uzunligining 22.5% ga qisqarishi qayd etildi.



1-rasm. OpenStreetMap asosida optimallashtirilgan marshrut vizualizatsiyasi

1-rasmda Greedy algoritmi orqali hosil qilingan dastlabki marshrut va 2-opt algoritmi yordamida optimallashtirilgan yakuniy marshrutning geografik ko‘rinishi keltirilgan. Rasmda kesishuvchi yo‘llarning kamaygani va marshrutning yanada silliq va qisqa shaklga kelgani kuzatiladi.

Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, Greedy algoritmi tezkor dastlabki yechimni taqdim etsa-da, optimal natija bermaydi. Biroq 2-opt algoritmi qo‘llanilgandan so‘ng marshrut strukturasi sezilarli darajada yaxshilanadi va umumiy masofa kamayadi.

2-jadval. Nuqtalar soniga qarab optimallashtirish samaradorligi

Nuqtalar soni	Greedy masofa	2-optdan keyin	Yaxshilanish (%)
10 nuqta	38 km	30 km	21.1%
20 nuqta	80 km	62 km	22.5%
30 nuqta	135 km	102 km	24.4%

2-jadvaldan ko‘rinadiki, nuqtalar soni ortgani sari 2-opt algoritmining samaradorligi yanada yaqqolroq namoyon bo‘ladi. Bu holat algoritmnining katta o‘lchamli masalalarda ham barqaror ishlashini tasdiqlaydi.

Olingan natijalar logistika marshrutlarini optimallashtirishda Greedy va 2-opt algoritmlarining kombinatsiyasi samarali yondashuv ekanligini ko‘rsatdi. Greedy algoritmi tezkor boshlang‘ich yechimni yaratib bersa, 2-opt algoritmi uni bosqichma-bosqich yaxshilab, optimalga yaqin natijaga olib keladi.

Shuningdek, OpenStreetMap asosidagi vizualizatsiya natijalari marshrut optimallashtirish jarayonini amaliy jihatdan tushunarli va tahlil qilish uchun qulay ko‘rinishga keltirdi.

XULOSA. Ushbu tadqiqotda logistika jarayonlarida marshrutlarni optimallashtirish masalasi graf nazariyasi asosida, xususan Traveling Salesperson Problem (TSP) modeli doirasida o‘rganildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi Greedy (Nearest Neighbor) va 2-opt evristik algoritmlarini birgalikda qo‘llash orqali yetkazib berish marshrutlarining samaradorligini oshirishdan iborat edi.

Olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, Greedy algoritmi tezkor va sodda yechim yaratish imkonini bersa-da, u lokal optimal yechimlarda to‘xtab qolish ehtimoli yuqori bo‘lganligi sababli har doim ham eng qisqa marshrutni ta‘minlay olmaydi. Biroq 2-opt algoritmi yordamida marshrutdagi kesishuvchi yo‘llarni bartaraf etish orqali umumiy masofani sezilarli darajada kamaytirish mumkinligi aniqlandi.

Eksperimental natijalar asosida ishlab chiqilgan model logistika jarayonlarida umumiy marshrut uzunligini o‘rtacha 22.5% gacha qisqartirish, yetkazib berish vaqtini kamaytirish hamda yoqilg‘i xarajatlarini optimallashtirish imkonini berishi isbotlandi. Bu esa real logistika tizimlarida iqtisodiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi.

Shuningdek, geografik koordinatalar asosida masofalarni hisoblashda Haversine formulasidan foydalanish modelning aniqligini oshirib, uni real sharoitlarga yaqinlashtirdi. OpenStreetMap bilan integratsiya esa natijalarni vizual tahlil qilish imkonini yaratdi va tizimning amaliy qo‘llanilish darajasini oshirdi.

Shu bilan birga, tadqiqotda ayrim cheklovlar mavjudligi qayd etildi. Jumladan, modelda transport tirbandligi, yo‘l holati va vaqtga bog‘liq dinamik omillar hisobga olinmagan. Bundan tashqari, ushbu yondashuv faqat TSP modeliga asoslangan bo‘lib, real logistika tizimlarida uchraydigan Vehicle Routing Problem (VRP) kabi ko‘p transportli murakkab holatlarni to‘liq qamrab olmaydi.

Kelgusida ushbu ishni yanada rivojlantirish uchun real vaqt trafik ma‘lumotlarini integratsiya qilish, VRP modellarini qo‘llash hamda Google Maps yoki Yandex Maps API bilan kengaytirish tavsiya etiladi. Bu esa ishlab chiqilgan modelning aniqligi va amaliy qo‘llanilish doirasini yanada kengaytiradi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari Greedy va 2-opt algoritmlarining kombinatsiyasi logistika marshrutlarini optimallashtirishda samarali, tezkor va amaliy jihatdan maqbul yondashuv ekanligini tasdiqlaydi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. Introduction to Algorithms. — MIT Press, 2009.
2. Lawler E.L. The Traveling Salesperson Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization. — John Wiley & Sons, 1985.
3. Applegate D., Bixby R., Chvátal V., Cook W. The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. — Princeton University Press, 2006.
4. Gutin G., Punnen A. The Traveling Salesman Problem and Its Variations. — Springer, 2007.
5. Laporte G. The Traveling Salesman Problem: An overview of exact and approximate algorithms. // European Journal of Operational Research, 1992, pp. 231–247.
6. Ahuja R.K., Magnanti T.L., Orlin J.B. Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications. — Prentice Hall, 1993.
7. Nilsson N.J. Artificial Intelligence: A New Synthesis. — Morgan Kaufmann, 1998.
8. Qosimov N.X. Diskret matematika va graf nazariyasi. — Toshkent, 2018.
9. Python Software Foundation. Python Language Reference, Version 3.x Documentation. <https://docs.python.org/>
10. OpenStreetMap Foundation. OpenStreetMap API and Documentation. <https://www.openstreetmap.org/>
11. Silver D. et al. Heuristic and Metaheuristic Approaches for Combinatorial Optimization Problems. — IEEE Access, 2020.
12. Qutbiddinova.Sh.S “Eng qisqa yo‘l algoritmlarini sun’iy neyron tarmoqlariga integratsiya qilish”(graf nazariyasi asosida) — ilmiy maqola, Farg‘ona davlat universiteti, 2025.
13. Bast H., Delling D. Route Planning in Transportation Networks. — Springer, 2015.
14. Helsgaun K. An Effective Implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic. — European Journal of Operational Research, 2000.