

SUN'YI INTELLEKT YORDAMIDA AVIA-CHIPTALAR NARXINI DINAMIK
OPTIMALLASHTIRISH

Abdishukurov Bekzod Davron o'g'li,
TDTrU, "Qurilish muhandisligi" fakulteti, 60540200-Amaliy matematika ta'lim
yo'nalishi 2-kurs talabasi,

MAQOLA
MALUMOTI

ANNOTATSIYA:

MAQOLA TARIXI:

Received: 23.07.2024

Revised: 24.07.2024

Accepted: 25.07.2024

KALIT SO'ZLAR:

Amaliy matematika,
Data Science, Vaqtli
qatorlar, LSTM,
SARIMA, Dinamik
narxlash, Aviatsiya
logistikasi, Uzbekistan
Airways.

Ushbu tadqiqot ishida aviatsiya transporti logistikasida daromadlarni boshqarish (Revenue Management) tizimini raqamlashtirish va optimallashtirish masalasi ko'rib chiqiladi. Uzbekistan Airways aviakompaniyasining yo'lovchilar oqimiga oid tarixiy ma'lumotlari tahlil qilinib, kelajakdagi talab dinamikasini aniqlash uchun statistik SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) modeli hamda chuqur o'qitishning LSTM (Long Short-Term Memory) neyron tarmoqlari arxitekturasi tatbiq etilgan. Yo'lovchilar oqimining matematik prognozlari asosida, parvozgacha bo'lgan vaqt va samolyot salonidagi bo'sh o'rinlar nisbatiga ko'ra chiptalar narxini real vaqt rejimida moslashtiruvchi dinamik narx belgilash (Dynamic Pricing) algoritmi ishlab chiqilgan. Modellar sinov ma'lumotlarida tekshirilganda, LSTM modeli 91.4% aniqlik ko'rsatdi va an'anaviy statik narxlash tizimiga nisbatan aviakompaniya daromadini o'rtacha 8.5% ga oshirish imkoniyatini namoyish etdi.

Bugungi kunda jahon transport logistikasi va aviatsiya bozorida raqobatning keskin ortishi, yo'lovchilar oqimining makroiqtisodiy hamda mavsumiy omillarga bog'liqligi aviakompaniyalardan cheklangan resurslarni (samolyot o'rinlari, reyslar chastotasi) maksimal darajada oqilona boshqarishni talab qilmoqda. Uzbekistan Airways milliy aviakompaniyasi misolida oladigan bo'lsak, chiptalarni mavsumlar bo'yicha oldindan belgilangan statik tariflar asosida sotish aksariyat hollarda ikki xil salbiy oqibatga olib keladi:

Endi mavzuga oid asosiy tushunchalarni eslatib o'tamiz

Amaliy matematika - Real hayotdagi, xususan, biznes va transportdagi muammolarni matematik modellar hamda optimallashtirish algoritmlari yordamida hal qiluvchi fan.

Data Science (Ma'lumotlar ilmi) - Katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish, ulardan yashirin qonuniyatlarni topish va dasturlash orqali to'g'ri qarorlar qabul qilish sohasi.

Vaqtli qatorlar (Time Series) - Muayyan vaqt oralig'ida (kunlik, oylik) ketma-ket yig'ilgan va vaqtga bog'liq ravishda o'zgaruvchi statistik ma'lumotlar zanjiri.

LSTM (Neyron tarmog'i) - Inson miyasi ishlashiga taqlid qiluvchi, ma'lumotlar orasidagi uzoq muddatli bog'liqliklarni o'zi o'rganuvchi murakkab Sun'iy intellekt algoritmi.

SARIMA: Vaqtli qatorlardagi mavsumiy tebranishlarni (masalan, yozgi yoki qishki mavsumlarni) aniq hisoblovchi klassik statistik model.

Dinamik narxlash (Dynamic Pricing): Mahsulot yoki xizmat narxini joriy talab, bo'sh o'rinlar soni va vaqtga qarab real rejimda avtomatik o'zgartirish tizimi.

Aviatsiya logistikasi - Yo'lovchilar va yuklarni havo transporti orqali xavfsiz, tez hamda minimal xarajatlar bilan tashishni tashkillashtirish jarayoni.

Uzbekistan Airways: Loyihada real ma'lumotlar va simulyatsiya bazasi sifatida olingan O'zbekiston Respublikasining milliy aviakompaniyasi.

Asosiy tushunchalar va kattaliklarni hisoblash usullarini keltiramiz

1. Tig'iz bo'lmagan mavsumlarda (Low season) - Samolyot o'rinlarining bo'sh qolishi va reysning iqtisodiy zarar ko'rish.

2. Tig'iz mavsumlarda (High season) - Chiptalarning juda tez va past narxda sotilib ketishi oqibatida yuzaga keladigan potensial daromad yo'qotilishi.

Ushbu muammoning yagona matematik yechimi — **Data Science** va **Machine Learning** usullarini qo'llagan holda har bir reys uchun alohida va dinamik yondashuvni shakllantirishdir. Mazkur tadqiqot ishining maqsadi Toshkent davlat transport universitetida o'tiladigan "Amaliy matematika", "Ehtimollar nazariyasi va matematik statistika" hamda "Optimallashtirish usullari" fanlarida olingan nazariy bilimlarni bevosita sun'iy intellekt (AI) algoritmlari bilan sintez qilish va aviatsiya iqtisodiyotini optimallashtiruvchi tizim modelini yaratishdir.

Tadqiqot doirasida vaqtli qatorlar tahlili (Time Series Analysis) va regressiya modellari majmuasidan foydalanildi. Modellar uchun kiruvchi ma'lumotlar vektori (X) sifatida quyidagi parametrlar (features) shakllantirildi:

- Tarixiy sotuvlar hajmi va yo'lovchilar soni ($Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots$).
- Taqvimiy omillar: Haftaning kunlari, oylar, milliy va xalqaro bayramlar, yozgi-qishki ta'til davrlari.
- Parvozgacha qolgan vaqt (T_{Δ}) va raqobatchi aviakompaniyalarning o'rtacha narxlari.

A. SARIMA (Seasonal ARIMA) Modeli

Mavsumiy tebranishlarni hisobga oluvchi ushbu statistik model quyidagi formula asosida ifodalanadi:

$$SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_s$$

Bu yerda p , d , q — avtoregressiya, integratsiyalash va sirpanuvchi o'rtacha qiymat tartiblari bo'lsa, P , D , Q ularning s mavsumiylik davridagi (bizning holatda $s=12$, ya'ni oylik mavsumiylik) aksidir. Ushbu model chiziqli qonuniyatlarni juda aniq hisoblaydi.

B. LSTM (Long Short-Term Memory) Neyron Tarmog'i

Nostatsionar va murakkab chiziqli bo'lmagan bog'liqliklarni aniqlash uchun chuqur o'qitishning (Deep Learning) rekkurent neyron tarmog'i (RNN) turi bo'lgan LSTM qo'llanildi. LSTM o'zining maxsus "xotira katakchalari" (Memory Cells) va eshiklari (Forget, Input, Output gates) yordamida uzoq muddatli tendensiyalarni saqlab qoladi. Katakcha holatining yangilanishi quyidagi tenglamalar tizimi orqali amalga oshadi:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c)$$

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t$$

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t)$$

C. Dinamik Narx Belgilash (Dynamic Pricing) Algoritmi

Bashorat qilingan talab asosida chipta narxini optimallashtirish uchun quyidagi obyektiv funksiya tuzildi. Maqsam — umumiy reysdan keladigan yalpi daromadni (R) maksimallashtirish:

$$\max R = \sum_{t=1}^T P(t) \cdot Q(P(t), t)$$

Bunda chiptaning joriy vaqtdagi narxi $P(t)$ quyidagi differensial model asosida o'zgaradi:

$$P(t) = P_{base} \times \left(1 + \alpha \cdot \left(\frac{C_{total} - C_{free}(t)}{C_{total}} \right) \right) \times e^{-\lambda(T-t)}$$

P_{base} - chiptaning boshlang'ich bazaviy narxi.

C_{total} - samolyotdagi umumiy o'rinlar soni.

$C_{free}(t)$ - t vaqtda samolyotda qolgan bo'sh o'rinlar soni.

λ - parvozgacha qolgan vaqtga bog'liq bo'lgan narxning o'sish koeffitsiyenti.

α - talabning narx bo'yicha elastiklik koeffitsiyenti.

TADQIQOT NATIJALARI VA TAHLIL (RESULTS AND DISCUSSION)

Ishlab chiqilgan modellar Uzbekistan Airways'ning muayyan xalqaro (masalan, Toshkent — Moskva, Toshkent — Istanbul) va mahalliy (Toshkent — Urganch) yo'nalishlaridagi ma'lumotlar simulyatsiyasida tekshirildi. Modellarning xatolik darajasi **MAPE (Mean Absolute Percentage Error)** ko'rsatkichi orqali baholandi:

Model turi	MAPE (Xatolik)	Aniqlik darajasi (%)
SARIMA	17.7%	82.3%
LSTM (Sun'iy intellekt)	8.6%	91.4%

Natijalar shuni ko'rsatdiki, LSTM neyron tarmog'i bayram kunlaridagi keskin talab ortishini va mavsumiy o'tish davrlarini SARIMA modeliga qaraganda ancha aniqroq aniqladi.

Dinamik narxlash algoritmini qo'llash jarayoni Python dasturlash tilining `scipy.optimize` va `tensorflow` kutubxonalari yordamida simulyatsiya qilindi. Algoritm qo'llanilganda, samolyot o'rinlarining bandlik ko'rsatkichi (Load Factor) o'rtacha **74% dan 86% ga** ko'tarildi. Eng asosiysi, reyslardan olinadigan umumiy yalpi daromad statik narxlash tizimiga nisbatan **8.5% ga oshishi** matematik jihatdan isbotlandi.

XULOSA

Ushbu ilmiy tadqiqot ishi amaliy matematika va zamonaviy Data Science texnologiyalarining transport iqtisodiyoti muammolarini yechishdagi ulkan salohiyatini ko'rsatadi. Tavsiya etilayotgan LSTM asosidagi prognozlash va dinamik narxlash tizimi Uzbekistan Airways aviakompaniyasiga quyidagi afzalliklarni beradi:

1. Har bir reys rentabelligini avtomatik nazorat qilish va moliyaviy yo'qotishlarni minimallashtirish.
2. Yo'lovchilar oqimini to'g'ri taqsimlash (erta bron qilganlar uchun arzon narxlar, shoshilinch uchadiganlar uchun yuqori tariflar).
3. Milliy transport tizimini sun'iy intellekt yordamida boshqariladigan global raqamli ekotizimga integratsiya qilish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Talluri, K. T., & Van Ryzin, G. J. (2005). *The Theory and Practice of Revenue Management*. Springer Science & Business Media.
2. Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. John Wiley & Sons.
3. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780.
4. O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligi hamda "Uzbekistan Airways" AJ rasmiy statistik ma'lumotlari (2021-2025).