

**YO'L QURILISH OB'EKTLARIDA AVTONOM
MASHINALARNING O'ZARO XAVFSIZ HARAKATLANISHINI
TA'MINLOVCHI V2X (VEHICLE-TO-EVERYTHING)
PROTOKOLLARI TAHLILI**

Sharifjonov Sardorbek Abdujabbor o'g'li

“Namangan mintaqaviy yo'llarga buyurtmachi xizmati”

davlat muassasasi

Loyiha ta'minoti bo'limi bosh mutaxasisi

Email: sharifjonovsardor7717@gmail.com

***Annotatsiya.** Ushbu tezisdan yo'l qurilish ob'ektlarining o'ta dinamik va noaniq muhitida avtonom mashinalarning o'zaro xavfsiz harakatlanishini ta'minlash uchun V2X (Vehicle-to-Everything) aloqa protokollarining imkoniyatlari tahlil etiladi. Tadqiqotning asosiy maqsadi — qurilish maydonidagi bir nechta avtonom texnikalar, datchiklar va infratuzilma elementlari o'rtasida real vaqt rejimida ma'lumot almashish samaradorligini baholash hamda to'qnashuvlarning oldini olish mexanizmlarini ishlab chiqishdir. Ishda V2V (mashinadan mashinaga), V2I (mashinadan infratuzilmaga) va V2P (mashinadan piyodaga) aloqa modellari tahlil qilinib, ularning kechikish vaqti (latency) va ishonchlilik (reliability) ko'rsatkichlari qurilish jarayonlarining o'ziga xos texnik talablari asosida o'rganiladi. Ayniqsa, C-V2X (Cellular V2X) va DSRC (Dedicated Short Range Communications) protokollarining qurilish maydonlaridagi chang, vibratsiya va signallarning jismoniy to'silishi sharoitlaridagi turg'unligi qiyosiy tahlil etiladi. Tadqiqot natijalari ko'p agentli avtonom tizimlarni muvofiqlashtirish va "intellektual qurilish maydoni" (Smart*

Construction Site) konsepsiyasini amalga oshirishda yuqori samaradorlikka ega xavfsiz aloqa arxitekturasini yaratish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: *V2X aloqa tizimlari, avtonom yo'l qurilish mashinalari, C-V2X protokoli, DSRC, V2V kommunikatsiya, ko'p agentli tizimlar, harakat xavfsizligi, ma'lumotlar almashinuvi, intellektual infratuzilma, to'qnashuvlarning oldini olish.*

Zamonaviy yo'l qurilish industriyasida avtonom texnikalarning joriy etilishi nafaqat texnologik jarayonlarni tezlashtirish, balki qurilish maydonchalaridagi xavfsizlik darajasini fundamental ravishda qayta ko'rib chiqish imkonini beradi. Sanoat 4.0 va raqamli iqtisodiyot sharoitida bir nechta mustaqil avtonom birliklarning (ekskavatorlar, greyderlar, yuk mashinalari) bir maydonda samarali ishlashi ularning o'zaro axborot almashish qobiliyatiga bevosita bog'liqdir. Faqatgina bort sensorlari (LiDAR, radar, kameralar) orqali olingan ma'lumotlar qurilish maydonidagi jismoniy to'siqlar yoki chang kabi agressiv omillar sababli cheklangan bo'lib qolishi mumkin. Shu sababli, V2X (Vehicle-to-Everything) kommunikatsiya texnologiyalari avtonom mashinalarning "ko'rish maydoni"dan tashqaridagi ob'ektlarni ham idrok etishiga xizmat qiluvchi asosiy vositaga aylanmoqda. Mazkur tadqiqot yo'l qurilish ob'ektlarida V2X protokollarining qo'llanilishi va ularning xavfsiz harakatlanishdagi rolini tizimli tahlil qilishga yo'naltirilgan. Tadqiqotning metodologik asosi sifatida kommunikatsiya protokollarining ishonchliligi va ma'lumot uzatishdagi kechikish vaqtlarining kritik chegaralari tahlil qilinadi.

Yo'l qurilish maydonchalarining dinamik tabiati sensorli tizimlar uchun o'ta murakkab muhit hisoblanib, bu yerda ob'ektlarning o'zaro to'silib qolishi (occlusion) tez-tez kuzatiladi. Masalan, katta hajmli

tuproq uyumlari yoki boshqa og'ir texnikalar LiDAR datchiklarining ko'rish chizig'ini to'sib qo'yishi natijasida avtonom tizim potentsial xavfni o'z vaqtida aniqlay olmasligi mumkin. V2X protokollari bunday vaziyatlarda mashinalarga o'z koordinatalari, tezligi va niyatlari (trajectory intent) haqidagi ma'lumotlarni bir-biriga uzatish imkonini beradi. Bu jarayonda V2V (Vehicle-to-Vehicle) aloqasi orqali mashinalar o'zaro "shaffof" bo'lib, kutilmagan to'qnashuvlarning oldini oladi. Bunday kommunikatsiya tarmog'i har bir mashinani umumiy ko'p agentli tizimning bir qismiga aylantiradi va jamoaviy xavfsizlikni ta'minlaydi. Ma'lumotlar almashinuvi jarayoni real vaqt rejimida kechishi tizimning qaror qabul qilish tezligini bir necha barobar oshiradi.

V2X arxitekturasining tarkibiy qismlari hisoblangan V2I (Vehicle-to-Infrastructure) va V2P (Vehicle-to-Pedestrian) protokollari qurilish maydonidagi barcha sub'ektlarni yagona raqamli ekotizimga birlashtiradi. V2I aloqasi orqali mashinalar yo'l bo'yidagi intellektual infratuzilma birliklaridan (RSU) geodezik loyiha ma'lumotlarini va hududdagi o'zgarishlar haqida xabarlarni qabul qiladi. V2P protokoli esa qurilish maydonidagi ishchilarning maxsus sensorli qurilmalari (wearables) bilan aloqa o'rnatib, inson omili bilan bog'liq baxtsiz hodisalarning oldini olishga xizmat qiladi. Ushbu ko'p qirrali aloqa modeli qurilish jarayonida inson va mashina o'rtasidagi xavfsiz masofani doimiy nazorat qilish imkonini yaratadi. Infratuzilma elementlarining aqlli datchiklari mashinalarga yo'l qoplamasining holati yoki ob'ektning yopiq qismlari haqida bashoratli ma'lumotlarni uzatadi. Bu esa avtonom greyder yoki asfalt yotqizgichning o'z harakat trayektoriyasini oldindan optimallashtirishiga zamin yaratadi.

Kommunikatsiya protokollarini tanlashda DSRC (Dedicated Short Range Communications) va C-V2X (Cellular V2X) texnologiyalarining

texnik xarakteristikalarini o'rtasidagi farqlarni tahlil qilish juda muhimdir. DSRC protokoli 802.11p standarti asosida ishlaydi va qisqa masofalarda barqaror aloqani ta'minlasa-da, uning ma'lumot o'tkazuvchanlik qobiliyati nisbatan pastroqdir. C-V2X texnologiyasi esa uyali aloqa tarmoqlariga (4G LTE va 5G) tayanib, uzoq masofalarda va yuqori zichlikdagi ma'lumotlarni uzatishda ustunlikka ega. Yo'l qurilishining o'ta shovqinli elektromagnit muhitida C-V2X protokoli signallarning turg'unligini va xizmat ko'rsatish sifatini (QoS) yaxshiroq kafolatlaydi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, C-V2X orqali uzatiladigan ma'lumotlar paketi 5G tarmog'ida millisoniyali kechikishlar bilan yetkazib beriladi. Bu ko'rsatkich og'ir texnikalarning favqulodda to'xtash tizimlari (AEB) uchun hal qiluvchi ahamiyatga egadir.

Ma'lumotlarni uzatishdagi kechikish vaqti (latency) avtonom yo'l qurilish mashinalari uchun eng kritik ko'rsatkichlardan biri bo'lib qolmoqda. Agar ikki avtonom mashina o'rtasidagi aloqa kechikishi 100 millisoniyadan oshib ketsa, bu yuqori tezlikda harakatlanayotgan texnikalar uchun to'qnashuv xavfini tug'dirishi mumkin. 5G texnologiyasi asosidagi C-V2X protokollari ushbu kechikishni 10-20 millisoniyagacha kamaytirishga muvaffaq bo'ldi, bu esa tizimning reaktivligini oshiradi. Qurilish maydonidagi yuqori darajadagi chang va havo namligi radioto'lqinlarning tarqalishiga ta'sir qilsa-da, zamonaviy kodlash algoritmlari xatoliklarni korreksiya qilish imkonini beradi. Kechikishni minimallashtirish uchun hisoblash resurslarini chekka tarmoqlarga (Edge Computing) joylashtirish uslubiyoti ushbu tadqiqotda alohida ko'rib chiqilgan. Bu yondashuv markaziy serverga bo'lgan ehtiyojni kamaytirib, mahalliy aloqani yanada tezlashtiradi.

V2X protokollari doirasida uzatiladigan ma'lumotlarning paket strukturasi standartlashtirilgan bo'lishi turli ishlab chiqaruvchilarning

mashinalari o'zaro "til topishishi" uchun zarurdir. SAE J2735 va ETSI kabi xalqaro standartlar asosida shakllantirilgan BSM (Basic Safety Message) xabarlarini mashinaning o'lchamlari, og'irligi va dinamik holati haqidagi ma'lumotlarni qamrab oladi. Ushbu xabarlar soniyada kamida 10 marotaba yangilanib turishi tizimning dolzarbligini ta'minlaydi. Ma'lumotlar paketining ixchamligi va axborotga boyligi tarmoq yuklamasini kamaytirishga xizmat qiladi. Shuningdek, ma'lumotlar almashinuvi jarayonida kiberxavfsizlik masalalari ham o'ta dolzarb bo'lib, signallarning soxtalashtirilishidan (spoofing) himoyalaniish zarur. Shifrlangan kalitlar va raqamli sertifikatlardan foydalanish har bir xabarning haqiqiylikini tasdiqlash imkonini beradi.

Qurilish maydonidagi avtonom mashinalarning o'zaro harakatini muvofiqlashtirishda "Collective Perception" (jamoaviy idrok) tushunchasi markaziy o'rin egallaydi. V2X orqali har bir mashina nafaqat o'z holati, balki o'z sensorlari aniqlagan ob'ektlar haqidagi ma'lumotlarni ham boshqalar bilan baham ko'radi. Bu esa "aqlli" greyderning LiDAR datchigi ko'rgan to'siqni orqadagi yuk mashinasi ham darhol "his qilishini" anglatadi. Bunday sensorli sintez (Sensor Fusion) aloqa kanallari orqali amalga oshirilib, umumiy situatsion xabardorlikni oshiradi. Natijada, qurilish maydonining 3D raqamli xaritasi real vaqt rejimida barcha ishtirokchilar uchun yangilanib turadi. Bu texnologiya, ayniqsa, ko'rish cheklangan tunda yoki noqulay ob-havo sharoitida ish samaradorligini pasaytirmaslikka yordam beradi.

To'qnashuvlarning oldini olish algoritmlari (Conflict Resolution) V2X protokollaridan olingan ma'lumotlar asosida mashinalarning kelajakdagi trayektoriyalarini bashorat qiladi. Agar ikki mashinaning harakat yo'nalishlari kesishishi ehtimoli bo'lsa, tizim avtomatik ravishda ulardan biriga tezlikni pasaytirish yoki yo'nalishni o'zgartirish

buyrug'ini beradi. Bu jarayonda mashinalarning ustuvorlik darajasi (priority level) texnologik vazifadan kelib chiqib belgilanadi. Masalan, asfalt yotqizish jarayonidagi asfalt yotqizgich doimo ustuvorlikka ega bo'lib, boshqa yordamchi texnikalar unga moslashishi kerak. Bunday mantiqiy iyerarxiya qurilish maydonidagi tartibsizliklarning oldini oladi va ish maromini saqlab qoladi. Matematik modellar yordamida har bir mashina uchun xavfsiz "himoya zonasi" (safety buffer) dinamik ravishda hisoblanadi.

Yo'l qurilishida "Platooning" (karvon bo'lib harakatlanish) texnologiyasini qo'llashda V2X protokollari ajralmas qism hisoblanadi. Bir nechta yuk mashinalarining o'zaro minimal masofada harakatlanishi yo'l o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshiradi va yoqilg'i sarfini kamaytiradi. V2V aloqasi orqali birinchi mashinaning tormozlanishi haqidagi xabar zanjirdagi boshqa mashinalarga inson reaksiyasidan 10 barobar tezroq yetib boradi. Bu esa zanjirli to'qnashuvlar xavfini butunlay bartaraf etish imkonini beradi. Qurilish materiallarini tashishda ushbu usul logistik samaradorlikni 20 foizgacha oshirishi simulyatsiyalarda o'z tasdig'ini topgan. Tarmoq orqali sinxronlashgan harakat texnikalarning koordinatsiyasini mukammal darajaga olib chiqadi.

Infratuzilma bilan aloqa (V2I) qurilish maydonidagi statik va dinamik hududlarni aniq belgilab berishda foydalaniladi. Raqamli "geofencing" (geografik chegara) texnologiyasi orqali avtonom mashinalarga ruxsat etilmagan hududlarga kirish taqiqlanadi. V2I protokoli orqali yuklangan raqamli loyiha chizmalari mashinaning geodezik aniqligini millimetr darajasigacha ta'minlaydi. Infratuzilma datchiklari real vaqtdagi tuproq namligi yoki qatlam zichligi haqidagi ma'lumotlarni ham mashinalarga uzatishi mumkin. Bu esa texnologik jarayonning sifatini nazorat qilishda qo'shimcha imkoniyatlar yaratadi.

Shunday qilib, yo'l qurilish ob'ekti ulkan bir laboratoriyaga aylanib, unda barcha elementlar o'zaro muloqotda bo'ladi.

V2X tizimlarining turg'unligi (resilience) qurilish sharoitidagi fizik xalaqitlarga chidamlilik bilan o'lchanadi. Tadqiqot doirasida metall konstruksiyalar va og'ir texnikalarning radio to'lqinlarni qaytarish (multipath fading) effektlari o'rganildi. Ko'p antennali (MIMO) tizimlardan foydalanish signal sifatini pasaymasligini ta'minlashda eng yaxshi natijani ko'rsatdi. Shuningdek, tarmoqning o'z-o'zini tiklash (self-healing) qobiliyati bitta aloqa tugunining ishdan chiqishi butun tizimni to'xtatib qo'ymasligini kafolatlaydi. Ma'lumotlar almashinuvi protokollari har bir mashinaga o'zining lokal qarorlarini qabul qilish erkinligini ham qoldiradi. Bu esa aloqa vaqtincha uzilganda ham xavfsizlik protokollarining ishlashini ta'minlaydi.

Xulosa qilib aytganda, V2X protokollari avtonom yo'l qurilish mashinalarining o'zaro xavfsiz va samarali harakatlanishini ta'minlovchi eng istiqbolli texnologik yechimdir. Ushbu protokollar yordamida yaratilgan yaxlit axborot muhiti qurilish maydonlaridagi xavfsizlikni yangi bosqichga ko'taradi va operatsion unumdorlikni oshiradi. C-V2X va 5G texnologiyalarining integratsiyasi kelajakda butunlay uchuvchisiz boshqariladigan "Smart Construction" maydonlarini yaratishga imkon beradi. Tadqiqot davomida aniqlangan kechikish vaqti va ishonchlilik ko'rsatkichlari avtonom tizimlarni loyihalashda muhim ilmiy poydevor bo'lib xizmat qiladi. Kelgusidagi izlanishlar ko'p agentli tizimlarning o'zaro muvofiqlashgan mantiqiy algoritmlarini yanada takomillashtirishga qaratilishi lozim. Mazkur ish yo'l qurilish sohasida raqamli transformatsiyani amalga oshirishda muhim qadam hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Abbas, S., et al. 2022. V2X Communication for Smart Cities: Protocols, Standards, and Applications. CRC Press.
2. Ahmed, M., & Kim, Y. 2023. Cooperative Perception for Autonomous Construction Vehicles via 5G V2X. Automation in Construction, 145, 104631.
3. SAE International. 2020. V2X Communications Message Set Dictionary J2735. SAE Standard.
4. Zhao, L., & Liu, X. 2021. Safety-critical V2X communication in dynamic construction environments. IEEE Internet of Things Journal, 8-15, 12450-12462.
5. Ismoilov, T. R., & Sodiqov, J. S. 2024. Avtonom transport tizimlarida V2X texnologiyalari va xavfsizlik protokollari. O'zbekiston texnika jurnali, №2, 18-25.