

# Attālinātā robotu vadība ierobežotā telpā izmantojot web kameru

Eriks Klavins<sup>1</sup>, Romans Taranovs<sup>2, 1,2</sup> *Riga Technical University*

**Kopsavilkums.** Šajā rakstā ir piedāvāta metode robota attālinātai vadībai ierobežotā telpā. Metodes pamatā atrodas vienlaicīgās lokalizācijas un kartes veidošanas algoritms ar paātrinātu kartes veidošanu uz datora. Izmantojot bezvadu tīklu iespējas, web kameras dati tiek nosūtīti uz datoru, lai veiktu apstrādi. Apstrādes rezultātā tiek iegūta telpas karte, kura tiek izmantota robota pozīcijas noteikšanai. Sistēmu varēs paplašināt, lai varētu vadīt vairākus robotus, kuri arī būtu aprīkoti ar kameru vai kādiem citiem sensoriem, kā arī izmantot ad-hoc tīklu.

**Atslēgas vārdi:** attālinātā robota vadība, lokalizācija, kartes veidošana, videonovērošana.

## I. IEVADS

Mūsdienās daudzas ēkas drošības nolūkos tiek aprīkotas ar videonovērošanas kamerām. Taupības nolūkā, daudzviet var arī tikt izvietotas web kameras, kuras ir krietni lētākas par speciālajām videonovērošanas kamerām. Ja ir pieejami šo videokameru dati, tad tos var izmantot attālinātai robota vadīšanai, lai veiktu paplašinātu novērošanu. Šādu novērošanas sistēmu varētu pielietot bankās, lielveikalos un citās iestādēs, kur ir nepieciešama nepārtraukta novērošana.

Videonovērošanas kameras nav spējīgas pilnīgi apskatīt telpu, jo vienmēr atrodas kāds šķērslis, piemēram, galds vai skapis, kurš veido aklo zonu. Lai novērstu aklās zonas, robots tiek aprīkots ar web kameru. Ar šīs web kameras palīdzību var izslēgt aklās zonas vietās, kur robots ir spējīgs pārvietoties.

Pētījuma gaitā tiks izstrādāta datorprogramma, ar kuras palīdzību tiks veikta attālinātā robota vadība, balstoties uz web kameras attēlu datiem, kura atrodas uz paša robota, un videonovērošanas kameru attēlu datiem, protams, ja telpas ir aprīkotas ar šādu iespēju.

Raksts sastāv no 5 daļām, kur II sadaļā tiek aprakstīta pati sistēma, III sadaļā tiek aprakstīts sistēmas darbības princips. IV sadaļā tiek skaidrots, kā sistēma izmantos II sadaļas veidoto telpas karti un nobeigumā V sadaļā tiek aprakstītas bezvadu tīklu iespējas un to izmantošana šī uzdevuma veikšanai.

## II. ROBOTA ATTĀLINĀTĀ VADĪBA

Robota attālinātās vadības realizācijai ir nepieciešami dati par robotu, tā atrašanās vietu un apkārtējo vidi. Robota atrašanās vieta var tikt noteikta ar videonovērošanas kameru palīdzību, vai arī ar robota web kameras palīdzību. 1 ir redzama vienkārša telpa ar videonovērošanas kamerām. Ar kameru K1(1.att.) iespējams aplūkot tikai gaiteni, bet ar kamerām K2 un K3 - pašu kabinetu. Robots R šajā piemērā spējīgs aplūkot gan gaiteni, gan kabinetu. Telpa, kurā atrodas

dators ar vadības programmu, var atrasties blakus telpā, vai arī kādā citā tālākā telpā. Telpā atrodas galds un skapis, kas radīs aklās zonas videonovērošanas kamerām, un robots, kas pārvietosies pa telpu un veidos telpas karti.

Tātad, ja tiek apkopoti visu videokameru dati vienkopus, tiek iegūta detalizēta informācija par telpu, no kuras var veidot telpas virtuālo karti. No šīs virtuālās telpas kartes var veikt robota attālināto vadīšanu, jo, lai veiktu virtuālās kartes veidošanu, ir nepieciešams zināt, kur robots atrodas konkrētajā laikā un kur robots dosies tālāk.

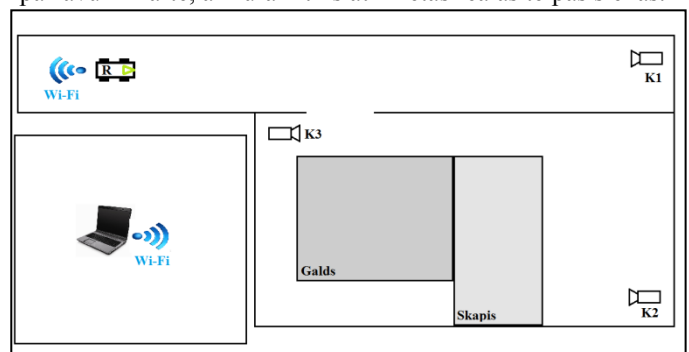
Pašam robotam papildus ir jābūt aprīkotam ar bezvadu tīkla adapteri, lai varētu realizēt attālināto vadību. Pa bezvadu tīklu robots nosūtīs datora programmai web kameras datus un pati programma, vadoties pēc web kameras datiem, dos robotam norādes, uz kurieni braukt. Pašai programmai arī jāspēj pārskatīt citu videonovērošanas kameru datus, un apstrādāt tos, lai varētu ātrāk izveidot telpas karti.

Ja robots atrodas kādā vietā, par kuru nekas nav zināms, tad ir jāsāk ar vides novērošanu, izmantojot tikai pieejamo web kameru. Šāda pieeja ir realizēta ar SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) algoritmu. Pati pirmā reāllaika sistēmu izveidoja A.J. Davison un D.W. Murray 1998. gadā [1]. Šī sistēma tika balstīta uz stereoredzi un bija spējīga veidot trīsdimensiju karti, kā arī vadīt pašu robotu.

SLAM algoritms vienlaicīgi veido telpas karti un nosaka paša robota pozīciju jau izveidotajā kartē. Ar šī algoritma palīdzību var arī vadīt robotu, jo tiek izveidoti kontroles vektori, pa kuriem robots pārvietosies.

## III. KARTES VEIDOŠANA

Kartes veidošana ir nepieciešam, lai varētu noteikt zonas, kur robots ir pabijis un kur robots vēl nav bijis. Zonas, kur robots ir bijis, tiks atzīmētas virtuālajā telpas kartē. Tātad arī zonas, kurās robots vēl nav bijis un sistēma nav veikusi kartes veidošanu, būs iespējams noteikt uz kartes, jo būs līniju pārrāvumi kartē, ar kurām tiks atzīmētas reālās telpas sienas.



1. att. Vienkārša telpas shēma. Telpa, kurā atrodas robots R, galds un skapis, ir aprīkota ar videonovērošanas kamerām K1, K2 un K3.

### A. Web kameras dati

Telpas kartes veidošanas paņēmieni ir dažādi, tomēr to rezultāts lielā mērā ir viens: telpas karte. Šajā sadaļā tiks apskatīts, cik precīzas ir šīs veidotās telpas kartes un kā tās tiek veidotas.

Kartes veidošana sniedz iespēju vadīt robotu, jo pēc telpas kartes varēs jau noteikt, kur robots atrodas un kur atrodas tā galamērķis, ja tāds eksistē. Lielākā daļa jau realizēto kartes veidošanas algoritmu pilnīgi vai arī daļēji balstās uz SLAM algoritma idejas.

SLAM ir algoritms, kurā tiek veidota apkārtējās vides karte un tajā pašā laikā tā tiek izmantota, lai noteiktu robota atrašanās vietu kartē. Abi procesi, kartes veidošana un lokalizācija, notiek vienlaicīgi bez nekādām iepriekšējām zināšanām par pētāmo vidi [2].

Viena no šī algoritma galvenajām idejām ir balstīšanās uz atskautes punktiem. Pati karte tiek inicializēta sistēmas darba sākumā, kad robota pozīcija ir vienāda ar kartes centra  $x$  un  $y$  koordinātēm, kuras ir vienādas ar  $(x=0; y=0)$ . Kad robots maina savu pozīciju, mainās arī kameras redzesloks, kas arī tiek izmantots atskautes punktu noteikšanai. Robota pozīciju mainīšanas dēļ mainās arī web kameras redzesloks, un līdz ar to izmainās arī atskautes punktu pozīcijas web kameras attēlā. Vienu un to pašu atskautes punktu patstāvīgi var atjaunot un papildināt ar jaunajiem datiem, kuri ir iegūti no citām robota pozīcijām, vai arī no telpas videonovērošanas kamerām.

Ņemot vērā, ka robots patstāvīgi kustēsies pa telpu, datoram ir jānosaka zināms skaits novērojamo, iepriekš nezināmu atskautes punktu, kā tas ir parādīts 2. att. Dažos gadījumos ar vienkāršiem mērījumiem ir par maz, lai iegūtu derīgu informāciju par atskautes punkta pozīcijām. Tādos gadījumos šie atskautes punkti ir jāapskata no dažādām robota pozīcijām, kā tas ir parādīts 3. attēlā. Laika konstantē  $t$  tiek definēti šādi mainīgie:

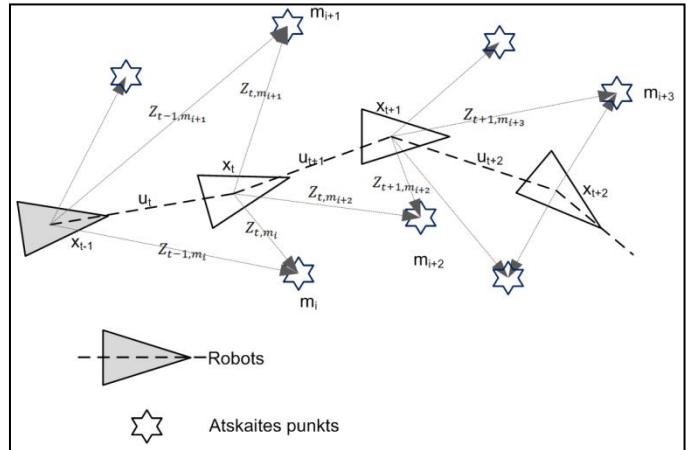
- $x_t$ : pozīcijas vektors, ar kuru tiek apzīmēta robota pozīcija kartē un orientācijas virziens,
- $u_t$ : kontrolvektors, pa kuru robotam ir jānokļūst punktā  $x_t$  laikā  $t$ . Tas tiek atrasts  $x_{t-1}$  pozīcijā,
- $m_i$ :  $i$ -tā atskautes punkta atrašanās vieta, kura patiesā atrašanās vieta ir pieņemta kā laika invariants,
- $Z_{t,m_i}$ : laikā  $t$ ,  $m_i$ -tā atskautes punkta pazīme. Kad kādā laikā  $t$  ir vairāki apskatāmie atskautes punkti  $m_i$  vai arī tie nav apskatāmi citās robota pozīcijās  $x_t$ , tad šo pazīmi var pierakstīt kā  $z_t$ .

Papildus šiem mainīgajiem tiek definēti arī to grupējumu saraksti:

- $X_{0:t} = \{x_0, x_1, \dots, x_t\} = \{X_{0:t-1}, x_t\}$ : visu robota atrašanās vietu saraksts,
- $U_{0:t} = \{u_0, u_1, \dots, u_t\} = \{U_{0:t-1}, u_t\}$ : visu esošo  $u_t$  kontrolvektoru saraksts,
- $m = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ : atskautes punktu saraksts,
- $Z_{0:t} = \{z_1, z_2, \dots, z_t\} = \{Z_{0:t-1}, z_t\}$ : visu atskautes punktu pazīmju saraksts.

### B. Video novērošanas kameras dati

Telpā izvietotajām stacionārajām kamerām nav nepieciešams veikt pastāvīgu novērošanu. Telpās arī var



2. att. Sistēmas darbības princips. Iekrāsotais trijstūris apzīmē robota sākumpozīciju, raustītā līnija ir trajektorija, pa kuru robots nonāk nākošajā pozīcijā.

atrasties kustīgās kameras, kuras maina video novērošanas leņķi, tādējādi tiek iegūts plašāks redzesloks. Kartes veidošanai pilnīgi pietiek ar vairākām videokamerām, kurām ir redzami vieni un tie paši atskautes punkti  $m_i$ . Šī karte nebūs pilnīga, bet tā jau būs viena daļa no kopējās telpas kartes. Jo vairāk ir šādu atskautes punktu, jo ātrāk tiks veidota karte. Svarīgi ir arī pēc iespējas iegūt atskautes punktu pazīmes  $Z_{t,m_i}$ . Jo šādu pazīmju būs vairāk, jo būs lielāka iespējamība, ka no robota web kameras šie atskautes punkti tiks atrasti un izmantoti tālāk. Diemžēl šīm kamerām ir daudz aklo zonu. Vienas kameras aklās zonas var aizstāt ar citu kameru, bet ne vienmēr tas ir iespējams.

### C. Līniju meklēšana

Līniju meklēšana dod iespēju noteikt, kur ir iespējamās aklās zonas videonovērošanas kamerām. Pazīstamā Hough transformācija meklē ģeometriskas figūras, pielietojot tā parametriskās reprezentācijas. Polārā reprezentācija līnijām parasti ir izteikta ar šādu formulu:

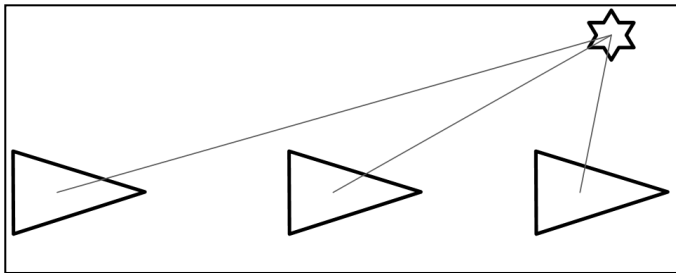
$$r = x \times \cos(\theta) + y \times \sin(\theta) \quad (1)$$

kur  $r$  ir distance starp līniju un tās sākumpunktu un kur  $\theta$  ir leņķis starp  $x$  asi un līniju. Šis algoritms veido sarakstu ar atrastajiem līnijas abu galu pikseļiem. Algoritmam papildus ir nepieciešams akumulācijas masīvs, kurš satur vienu skaitītāju katrai iespējamai parametru kombinācijai  $r$  un  $\theta$ . Pielietojot Hough transformāciju visām iespējamām parametru kombinācijām, skaitītājam ir nepieciešams liels aprēķinu laiks un atmiņas apjoms. Lai novērstu šos trūkumus, var pielietot varbūtisko Hough transformāciju, ar kuras palīdzību ir iespējams samazināt aprēķiniem nepieciešamo laiku [3].

Pirmais solis ir līnijas punktu kandidātu meklēšana, kas tiek saukti par *edgels*. Šie līniju punkti tiek atrasti, izmantojot šo punktu RGB krāsu kanālus.

Lai izvairītos no visu attēla pikseļu apstrādes, attēls tiek sadalīts izlases reģionos, tādā veidā padarot algoritmu ļoti ātru. Izlases reģioni parasti ir kvadrātiski un lielā mērā sastāv no horizontālām un vertikālām līnijām. Protams, ir iespējami

arī citi šo līniju virzieni. Algoritms spēj atrast līnijas  $0\div360^\circ$  leņķī atkarībā no attēla kvalitātes [3].



3.att. Neobjektīvā novērošana. Atskaides punkti tiek novēroti no dažādām robota pozīcijām.

Otrais solis ir RANSAC (*RAN*dOm *SAM*ple *CON*sensus) algoritma pielietošana, lai atrastu taisnas līnijas segmentus, balstoties uz atrastajiem līnijas punktiem pirmajā solī. Šis algoritms atrod līnijas, kurām ir visvairāk atbilstošo līnijas punktu [4]. Lai atrastu pašu līniju, RANSAC grupētājs lieto divus nejauši izvēlētos līnijas punktus, kuru orientācija ir līdzīga līnijai, kura savieno tos. Lai varēt atrast nepieciešamo līnijas punktu skaitu, kas nepieciešams līnijas atrašanai, šiem punktiem ir jāatrodas tuvu algoritma veidotajai līnijai ar tādu pašu orientāciju, kā tas parādīts 4. attēlā. Šeit tiek testētas divas līnijas *ab* un *cd*. Līnijai *ab* ir 12 līnijas punkti un līnijai *cd* ir tikai trīs. Tādā gadījumā līnija *ab* tiek uzskaitīta (attēlā tumšie aplīši), bet līnija *cd* tiek izslēgta (attēlā gaišie aplīši). Šis process turpinās tik ilgi, kamēr visas līnijas reģionā tiek atrastas, un pats algoritms darbojas tik ilgi, kamēr visi attēla reģioni ir apskatīti [5].

#### D. Kartes atjaunošana

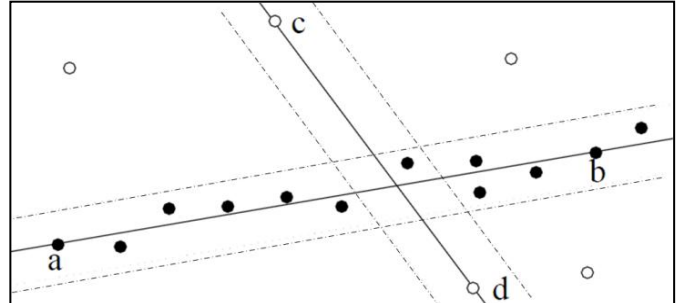
Kad karte tiek paplašināta ar jaunajiem atskaides punktiem, nepieciešamības gadījumā vecos atskaides punktus var arī dzēst. Tas vairāk attiektos uz tiem atskaides punktiem, kuri netiek atjaunoti no jaunajām robota pozīcijām.

Lai atvieglotu lokalizācijas uzdevumu, robota pozīciju var noteikt pēc esošās, izveidotās telpas kartes. Kartes atjaunošanas process ir tāds pats kā pie inicializācijas, bet galvenā ideja ir tāda, ka ir nepieciešams salīdzināt jau esošās kartes atskaides punktu pazīmes ar visās kamerās redzamajām pazīmēm. Tādā veidā nav nepieciešams no jauna meklēt atskaides punktus un rēķināt to koordinātas un pazīmes. Diemžēl tas uzreiz palielina sistēmas darbības laiku, kamēr visi punkti tiek salīdzināti, bet no otras puses samazina aprēķinu skaitu. Tieši tāpēc tiek piedāvāta sakritību paredzēšana, lai sašaurinātu meklēšanas diapazonu un iegūtu lielāku efektivitāti, kā tas aprakstīts [6].

#### E. Sadalītā atjaunināšana

Laikā, kad tiek atjauninātas robota pozīcijas un kartes pazīmes, var arī veikt atskaides punktu pazīmju atjaunināšanu, pielietojot paplašināto Kalmana filtru EKF (*Extended Kalman Filter*). Diemžēl pielietojot EKF atjaunināšanas soļus, to aprēķinu skaits pieaug kvadrātiski atkarībā no kartē esošo

atskaides punktu skaita. Sadalītās atjaunināšanas metode ir domāta, lai samazinātu šo aprēķinu daudzumu. Tā ierobežo jaunos kameru datus reģionos un atjauno karti ar mazāku frekvenci. Šī sadalīšanas metode dod optimālus novērtējumus, jo netiek pilnīgi viss kameras attēls apskatīts, bet gan tie reģioni, kur ir labākās atskaides punktu pazīmes.



4.att. RANSAC grupētājs.

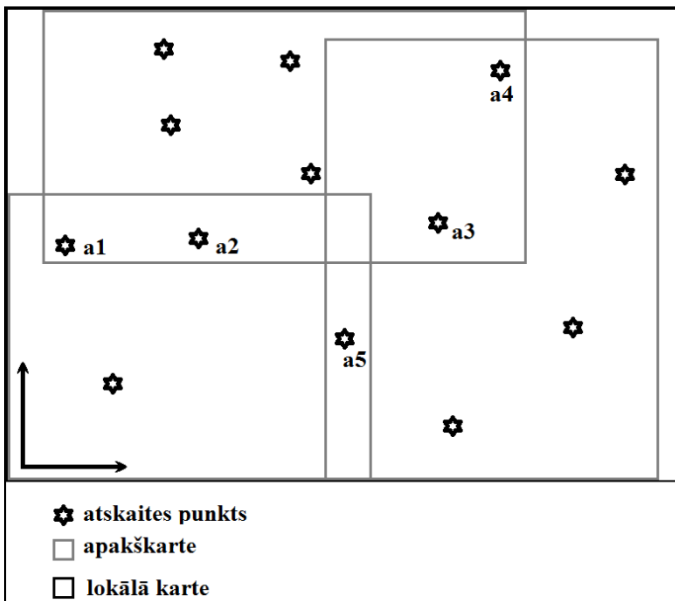
Pastāv divi sadalītās atjaunināšanas veidi. Pirmā apstrādā lokālos reģionus no kopējās kartes, saglabājot kopējās koordinātu norādes. Šāda pieeja ir aprakstīta avotā [7]. Otrs veids ģenerē īstermiņa apakškarti ar tās personīgo lokālo koordinātu kadru sistēmu. Ar vairākām ģenerētām apakškartēm iespējams ērti izveidot kopējo telpas karti. 5.a. attēlā, atskaides punkti *a*<sub>1</sub>, *a*<sub>2</sub>, *a*<sub>3</sub>, *a*<sub>4</sub> un *a*<sub>5</sub>, tika iekļauti vismaz divās apakškartēs un, saliekot šīs apakškartes kopā atbilstoši sakrītošajiem atskaides punktiem, tiek iegūta kopējā telpas karte.

Šāda pieeja piedāvā vienkāršu datu apstrādi ar augstu frekvenci lokālajā koordinātu kadrā, izvairoties no ļoti lielām kovariācijām. Kovariācija ir lineāra atkarība starp diviem nejaušiem mainīgajiem. Lokālās apakškartes algoritms saglabā divas neatkarīgas, visā sistēmas laikā radītās vērtības

$$x_G = \begin{bmatrix} x_F^G \\ m_G \end{bmatrix}, \quad x_R = \begin{bmatrix} x_V^R \\ m_R \end{bmatrix}, \quad (2)$$

kur  $x_G$  ir salikta karte no globālo atskaides punktu norādēm  $m_G$ , kopā ar globālās pozīcijas norādi no apakškartes koordinātu kadra  $x_F^G$ , un kur  $x_R$  ir lokālā apakškarte ar robota lokālo pozīciju  $x_V^R$  un lokālajiem atskaides punktiem  $m_R$ , kā tas ir parādīts attiecīgi 4. (a) un (b) attēlā.

Kad jaunas pazīmes tiek veidotas, atjauninājums tiek pilnīgi izpildīts lokālajā apakškartē tikai ar web kamerā esošajiem (atrastajiem) atskaides punktiem. Vienkārši summējot lokālās pozīcijas norādes un kopējās pozīcijas vektorus, no apakškartes koordinātu kadra ir iespējams iegūt robota pozīcijas novērtējumu laikā. Optimāls visas kartes novērtējums tiek iegūts, pielietojot ierobežotos atjauninājumus, tiklīdz kādas atskaides punktu pazīmes atbilst abām kartēm, un periodiski reģistrējot apakškartes kopējā kartē, kā tas parādīts 6. (c) attēlā. Šajā vietā tiek izveidotas jaunas apakškartes, un process visu laiku turpinās.



5.att. Lokālā karte. Lokālā karte var tikt veidota, saliekot kopā vairākas apakškartes pēc sakrītošajiem atskaites punktiem.

Apakškartes metodei ir savas priekšrocības. Pirmā no tām ir ierobežots atskaites punktu skaits, kuriem ir jābūt atjaunotiem vienā laikā. Tādā veidā tiek atjaunoti tikai tie punkti, kuri ir atzīmēti lokālās apakškartes koordinātu kadrā.

#### F. Pozīciju pieaugums

Laikā  $t$  pozīcijas vektors  $x_t = [x_{vt}^T, m^T]^T$  ietver divas daļas: robota pozīciju  $x_{vt}$  un kartes atskaites punktu sarakstu  $m$ . Balstoties uz kontrolvektoru  $u_k$  ieejām, robots pārvietojas tikai pa izrēķinātajām pozīcijām, atstājot kartes pozīcijas nemainīgas pēc dotās programmas

$$x_t = f(x_{t-1}, u_t) = \begin{bmatrix} f_v(x_{vt-1}, u_t) \\ m \end{bmatrix} \quad (3)$$

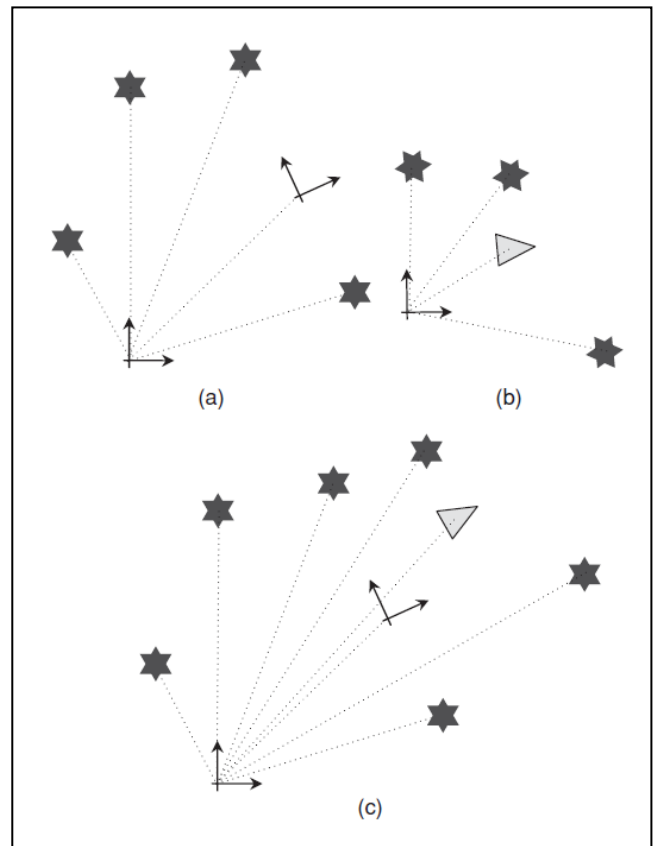
Procesam, kurā pievieno jaunus atskaites punktus pie pozīcijas vektora ir līdzīga forma. Jauns kartes atskaites punkts  $m_{n_{ew}}$  tiek inicializēts kā funkcija no robota pozīcijas  $x_{vt}$  un pazīmes  $z_t$ .

$$m_{n_{ew}} = g(x_{vt}, z_t) \quad (4)$$

Pieaugošais pozīciju skaits ir funkcija no neliela eksistējošo pozīciju skaita

$$x_t^+ = \begin{bmatrix} x_{vt} \\ m \\ g(x_{vt}, z_t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Galvenā ideja ir pielietot pozīciju palielināšanu jaunām pozīcijām kā funkciju no eksistējošo, iepriekšējo pozīciju apakšsaraksta.



6. att. Apakškartes veidošanas princips.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ f(x_2, q) \end{bmatrix} \quad (6)$$

#### G. Datu asociācija

Programmas normālai darbībai ir nepieciešama datu asociācija. Ar tās palīdzību tiek asociēti dati, kuri ir domāti vienam objektam, bet iegūti no dažādām kamerām vai dažādām robota pozīcijām. Šie dati ir jāapkopo tā, lai tie aprakstītu konkrēto objektu vai atskaites punktu.

Pirms visi dati tiek apkopoti kartē, jaunie mērījumi tiek asociēti ar eksistējošās kartes atskaites punktiem, un pēc datu apkopošanas, šīs asociācijas vairs nav pārskatāmas. Problēma ir tāda, ka vienkārša nepareiza datu asociācija kartes novērtējumos var veidot lielāku divergenci, reizēm pat radot katastrofālas kļūdas lokalizācijas algoritmos. [8]

Telpās, kuras ir aprīkotas ar videonovērošanas kamerām, ir iespējams ātrāk veidot telpas karti. Dati no divām vai vairākām videonovērošanas kamerām var tikt izmantoti, lai izveidotu kādu atsevišķu apakškarti, kuru vēlāk varētu iekļaut kopējā telpas kartē. Lokālā karte tiks veidota tāpat ar atskaites punktiem, bet tās vietas, kuras ir redzamas tikai vienā kamerā, arī tiks izmantotas, lai paātrinātu atskaites punktu noteikšanu.

Kad ir veikta līniju meklēšana videonovērošanas kameru datos, izteiktāko līniju galapunkti var tikt pielietoti, lai veiktu datu asociāciju ar atskaites punktiem, tāpat arī var veikt datu asociāciju ar līnijām no citām videonovērošanas kamerām. Tādā veidā tiek iegūti precīzāki atskaites punkti un to pazīmes.

Piemēram, ofisa galds no augšpusē izskatīsies kā paralelograms vairākās videonovērošanas kamerās. Zem šī galda var atrasties aklā zona. Šajā gadījumā vairāki atskaite punkti ir nepieciešami, lai ar robota palīdzību ātrāk būtu iespējams novērst aklās zonas.

Pielietojot EKF šiem atjaunotajiem atskaite punktiem, ir iespējams paplašināt un precizēt telpas karti. Telpas vietās, kuras ir aplūkojamas no divām vai vairākām videonovērošanas kamerām, sistēma spējīga izveidot apakškarte ar nezināmām atrašanās vietām. Šī izveidotā apakškarte var tikt iekļauta kopējā telpas kartē tad, kad tās atskaite punkti tiek atrasti ar robota kameras palīdzību. Tādā gadījumā šī telpas karte tiek iekļauta kopējā kartē un ar zināmām atrašanās vietām tajā.

Videonovērošanas kameru dati, kuros ir informācija par kādu telpas zonu, kura nav aplūkojama no citām videonovērošanas kamerām, arī var tikt izmantoti. No šīs kameras attēla tiek meklēti vairāki atskaite punkti, kurus varētu atrast no robota kameras redzesloka. Kad šādi atskaite punkti ir atrasti un salīdzināti ar robota web kameras datiem, vairs nav tādas nepieciešamības pēc papildus aprēķiniem, kas tiek veikti, ja atskaite punkts aplūkojams tikai no robota web kameras.

#### IV. KARTES IZMANTOŠANA

Kad ir iegūts pietiekami daudz lokālo apakškaršu, tās var savienot vienā kopīgā kartē. To var veikt divos veidos: kopējās kartes pozīcijas norādīšana un lokālās kartes pozīcijas norādīšana. Kopīgais paveidiens abiem veidiem ir tāds, ka apakškartē definē lokālo koordinātu kadru un attiecīgi no šī kadra tiek novērtēts tuvākais atskaite punkts. Lokālās apakškartes novērtējums tiek iegūts, pielietojot SLAM algoritmu kopā ar lokālo norāžu atskaite punktiem. Rezultātā, vadoties pēc aprēķinu efektivitātes, tiek hierarhiski sakārtota apakškartes struktūra, lai tiktu iegūta pilnīga kopējā telpas karte. Šī apakškartes metode novērtē kopējās kartes pozīcijas no apakškartes koordinātu kadra atbilstoši kopējam bāzes kadram. Kaut gan bāzes kadrs satur informāciju par apakškartes kadru, tomēr kopējās kartes neatvieglo linearizācijas problēmas, kuras rodas lielu robota pozu nenoteiktību dēļ [8].

Otrs relatīvās apakškartes paveids atšķiras no kopējās apakškartes metodes ar to, ka šeit nav kopējā koordinātu kadra. Katras izveidotās apakškartes pozīcija tiek iegūta tikai no kaimiņu apakškartēm, kuras ir savienotas grafiskā tīklā. Kopīgie novērtējumi var tikt noteikti, summējot tīkla trajektorijas vektorus, tādā veidā izvairoties no jebkādiem globālā līmeņa datiem, relatīvo apakškaršu adrešu aprēķiniem un nelinearitātes problēmām.

Relatīvās apakškartes struktūrai ir savas priekšrocības. Tā dod lokāli optimālu karti ar neatkarīgu aprēķinu sarežģītību no kopējās kartes izmēriem [8].

Šīs telpas kartes mērķis ir glabāt informāciju par visu telpu. Gadījumos, kad videonovērošanā notiek kļūme, robots vienalga ir spējīgs veikt savas darbības. Pat ja videonovērošanā kļūme notiek kartes veidošanas laikā, tad, izmantojot jau izveidoto telpas karti, sistēma ir spējīga turpināt

veidot telpas karti, bet ar mazāku frekvenci un mazāku atbilstību reālajai telpai.

Pilno telpas karti var izmantot, lai vadītu arī citus mobilos robotus. Kad robotiem tiek dots uzdevums no punkta „A” nokļūt punktā „B”, kas var atrasties jebkur uz telpas kartes, tad, izmantojot izveidoto karti, sistēma atradīs īsāko ceļu. Pretējā gadījumā bez kartes roboti vienkārši ilgu laiku maldītos pa telpu, līdz tie atrastu galamērķi.

Šī telpas karte var tikt izmantota arī bīstamu glābšanas operāciju veikšanai. Piemēram, ķīmijas laboratorija, kurā ir noticis kāds sprādziens vai ķīmisko vielu noplūde. Pa to laiku, kamēr glābšanas brigāde ierodas, robots jau būs atradīs noplūdes vai sprādziena vietu. Šī informācija ļaus glābējiem ātrāk un precīzāk reaģēt uz radušos situāciju un, pats galvenais, ka šīs informācijas iegūšanai cilvēki netiek pakļauti riskam.

#### V. BEZVADU TĪKLS

Attālināta robota vadībai ir nepieciešams bezvadu tīkls. Bezvadu tīkla paveidi ir dažādi, kā arī to īpašības ir pilnīgi atšķirīgas. Šajā nodaļā apskatīsim trīs izplatītākos bezvadu tīklus, *Wi-Fi*, *Bluetooth* un *ZigBee*.

*ZigBee* bezvadu tīkls tika izveidots, lai nosūtītu sensoru datus tālākai apstrādei. Tā pārraides attālums mainās robežās no 10 metriem līdz gandrīz 1.5 kilometriem atklātā vietā. Šī tīkla pārraides iespējas ierobežo ēkas projektējums, t.i., ja ēkas nesošās sienas satur armatūru, tas ļoti stipri pavājina signālu. Datu pārraides ātrums sasniedz līdz 250 kbit/s, kas ir samērā maz, lai spētu pārsūtīt web kameras datus. Ātrumu stipri ierobežos arī telpu norobežojošās sienas. Iespējams, ka ar šādu tīklu pat nebūs iespējams veikt blakus telpas novērojumus.

*Bluetooth* tīkls vairāk tika paredzēts mobilajiem telefoniem, bet tā attīstības rezultātā radās iespēja šo tīklu izmantot, lai nolasītu sensoru mērījumus. Šī tīkla trešā versija „*Bluetooth Version 3.0+HS*” maksimālais pārraides ātrums sasniedz 24 Mbit/s. Tīklā iespējams saslēgt dažādus datoru aksesuārus un mobilos telefonus, kuri ir stacionāri novietoti vai arī neveic lielas pozīcijas izmaiņas. Datu pārraides attālums sasniedz 100 metrus atklātās vietās. Telpās šie rādītāji būs daudz sliktāki, kas padarīs šo tīklu neizmantojamu mūsu uzdevuma veikšanai.

*Wi-Fi* tīkls ir plaši izplatīts un tiek pielietots daudzās ēkās, lai veidotu atsevišķu datoru tīklu. Tā pārraides attālums sasniedz vairāk kā 30 metrus iekštelpās. Pārraides ātrums IEEE 802.11n tīkla standartam sasniedz pat 300Mbit/s. Šī tīkla lielā priekšrocība ir tāda, ka telpas var tikt aprīkotas ar tīkla atkārtotājiem, tādā veidā paplašinot datu pārraides distanci un dodot iespēju robotam neierobežoti pārvietoties pa telpām. Ja ēka ir aprīkota ar vienu tīklu, tad tas dod iespēju efektīvāk izmantot to robota attālinātai vadībai.

Izmantojot *TCP/IP* transporta slāņa priekšrocības, var nodrošināt, ka web kameras dati no robota garantēti nonāks līdz datoram ar vadības programmu. Vienīgais šķērslis rodas, ja tīkls ir aprīkots ar tīkla paroli. Tas var radīt problēmas, jo robots nav aprīkots ar sistēmu paroles ievadīšanai. Tā vietā pirms uzdevuma sākšanas būs nepieciešams izveidot atsevišķu tīklu starp robotu un datoru, lai robota bezvadu adapterim nosūtītu nepieciešamos tīkla parametrus un datus [9].

Tā kā robotam ir ierobežots enerģijas avots, tad arī ir jāskatās, kāda web kamera un kāds tīkla adapteris tiek lietots. Lai iegūtu labus sistēmas rezultātus, ir jātērē vairāk enerģijas. Tīkla veidošanai starp datoru un robotu var izmantot *Wi-Fi* adapteri ar *IEEE 802.11b* standartu, jo ar to pilnīgi pietiek, lai pārsūtītu web kameras datus. Šāds adapteris patērē mazāk enerģijas, nekā izmantojot *IEEE 802.11n* standartu.

Turpmākie pētījumi varētu tikt veikti saistībā ar tīkla drošības nodrošināšanu, lai neviens cits nevarētu aplūkot robota web kameras attēla datus un vadīt pašu robotu. Papildus tam vēl varētu veikt attālināto robota vadību, atrodoties pasaules otrā malā, izmantojot internetu.

## VI. SECINĀJUMI

Rakstā apkopotās metodes sniedz iespēju ātrāk veidot telpas virtuālo karti, kura vēlāk tiek izmantota attālinātai robota vadībai. Lielākās problēmas radās ar lokalizācijas uzdevumu, jo to bija nepieciešams apvienot ar kartes veidošanu. Kaut arī lokalizācijas un kartes veidošanas algoritms jau sen ir izstrādāts, tas tomēr tiek joprojām pilnveidots un attīstīts. Izmantojot tikai vienu web kameru, šo uzdevumu veikt ir grūti, jo pats algoritms vairāk balstās uz lāzersensoru vai ultraskaņas distances sensoru datiem. Tāpēc šī uzdevuma veikšanai ir nepieciešama atskaites punktu meklēšana. Izstrādājot šo sistēmu, tā būs spējīga izmantot arī videonovērošanas kameru datus, ar kuriem arī tiek realizēta ātrāka kartes veidošana. Dotā sistēma, iespējams, būs pielietojama daudziem novērošanas uzdevumiem, kā arī veicot papildus kameras attēlu apstrādi būs iespējams izveidot 3D telpas modeli atbilstoši reālajai telpai.

### Eriks Klavins, Romans Taranovs. Remote Web Camera Based Robot Control in Bounded Space.

The research aims to develop a system that can control a mobile robot remotely. Robot is equipped with only a webcam and a wireless network adapter. During the research it was found out that many buildings are equipped with video surveillance, but not all buildings are ideal for video surveillance. There are places that cannot be seen in video surveillance camera. Therefore, this paper proposes a method for remotely controlled robot in bounded space, which uses a robot, equipped with a web camera, and video surveillance camera data. The method is based on the simultaneous localization and mapping algorithm to accelerate the creation of maps on the computer. Processing is performed with special software, which also is described in this article. Processing result is a virtual space, which is used to determine the robot position. Using wireless network, web camera data are sent to the computer for their treatment. It is possible to extend the proposed system to manage multiple robots, each equipped with a web camera or some other sensors, as well as the use of ad-hoc network. The system also provides cases when mapping fails, e.g. it is not possible to receive data from video surveillance cameras due to failure in communication, or room is not equipped with surveillance cameras. When map is created it is possible to take a variety of other tasks for which the localization is required, for example, the robot must go from one office to another. There is one drawback in the proposed system – it is hard, or impossible to detect transparent, i.e. glass, office walls. This disadvantage can be avoided with additional ultrasonic distance sensors. These ultrasonic sensor measurements are then processed and associated with the camera data. The main advantage of this system is that it can be extended to create a 3D space model to match the real space.

### Эрик Клявиньш, Роман Таранов. Удаленное управление мобильным роботом в ограниченном пространстве с помощью веб-камеры.

Целью исследования является разработка системы, способной удаленно управлять мобильным роботом, оснащенным только веб-камерой и беспроводным сетевым адаптером. В ходе исследования было обнаружено, что многие здания оснащены видеонаблюдением. Но не все здания идеально подходят для видеонаблюдения, т. е. их невозможно рассматривать в видеокамеры наблюдения. Таким образом, в настоящей статье предлагается метод удаленного управления роботом в ограниченном пространстве с помощью веб-камеры и данных камеры видеонаблюдения. Метод основан на алгоритме одновременной локализации и картографии с ускоренным созданием карт на компьютере. Обработка проводится с помощью специального программного обеспечения, методы и алгоритмы которого также описаны в статье. Областью обработки является виртуальное пространство, которое используется для определения положения робота. Используются беспроводные сети, чтоб направлять в компьютер данные веб-камеры для их обработки. После создания карты можно ставить перед собой ряд других задач, для которых требуется локализация, например, робот должен переходить из одного офиса в другой. Система также предусматривает случаи, когда программа неспособна получать данные с камер видеонаблюдения, где у них есть провал, отключились или помещение не оборудовано с ними. Недостатки системы наблюдаются в тех случаях, когда офисные помещения разделены прозрачными стеклянными стенами. Этот недостаток можно исправить при помощи дополнительных ультразвуковых датчиков, данные которых вместе данными с веб-камерой передаются на компьютер. Эти измерения затем обрабатываются и связываются с данными камеры. Система имеет преимущество в том, что она может быть расширена для создания 3D-модели пространства в соответствии с реальным пространством. Также система может быть расширена для управления несколькими роботами, которые также будут оснащены камерой или другими датчиками, а также использования в одноранговой сети.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] A.J. Davison and D.W. Murray, "Simultaneous Localization and Map-Building Using Active Vision," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 7, pp. 865-880, July 2002.
- [2] H. Durrant-Whyte and T. Bailey, "Simultaneous localization and mapping: part I," IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 13, no. 2, pp. 99-110, June 2006.
- [3] J.C. Clarke, S. Carlsson, and A. Zisserman. Detecting and tracking linear features efficiently. In BMVC. British Machine Vision Association, 1996.
- [4] Konstantinos G. Derpanis, "Overview of the RANSAC Algorithm", version 1.2, may 2010.
- [5] Martin Hirzer, "Marker Detection for Augmented Reality Applications", Inst. for Computer Graphics and Vision Graz University of Technology, Austria, Seminar/Project Image Analysis Graz, October 2008
- [6] Andrew J. Davison, Ian D. Reid, Member, IEEE, Nicholas D. Molton, and Olivier Stasse, Member, IEEE, "MonoSLAM: Real-Time Single Camera SLAM", IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 29, NO. 6, JUNE 2007
- [7] J. Guivant and E. Nebot, "Optimization of the simultaneous localization and map building algorithm for real time implementation," IEEE trans. Robot. Automat., vol. 17, no. 3, 242-257 pp., 2001.
- [8] T. Bailey and H. Durrant-Whyte, "Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part II," IEEE Robot. Autom. Mag., vol. 13, no. 3, pp. 108-117, Sep. 2006.
- [9] Wi-Fi Wireless Networks and Technology, 2011 [Online] Pieejams: [http://compnetworking.about.com/od/wireless/WiFi\\_Wireless\\_Networks\\_and\\_Technology.htm](http://compnetworking.about.com/od/wireless/WiFi_Wireless_Networks_and_Technology.htm) [apskatīts: Oktobris 25, 2011 ]

**Eriks Klavins.** Was born in 1988 . Bachelor degree in computer science (Riga Technical University, 2010). Currently he is a Master student at Riga Technical University, Institute of Computer Control, Automation and Computer Science, Department of Computer Networks and System Technology.  
Email: erix\_kl@inbox.lv.

**Romans Taranovs,** received M.sc.eng. degree from Riga Technical University in 2009. He currently is a doctoral student at Riga Technical University. He has been holding the assistant position at Riga Technical University since 2009.. His research interests include microprocessors, embedded systems wireless sensors networks and computer based control.