

АТ-6 Когнитивна роботика:

***Оцењивање положаја мобилног
робота и карактеристичних
објеката у технолошком
окружењу***

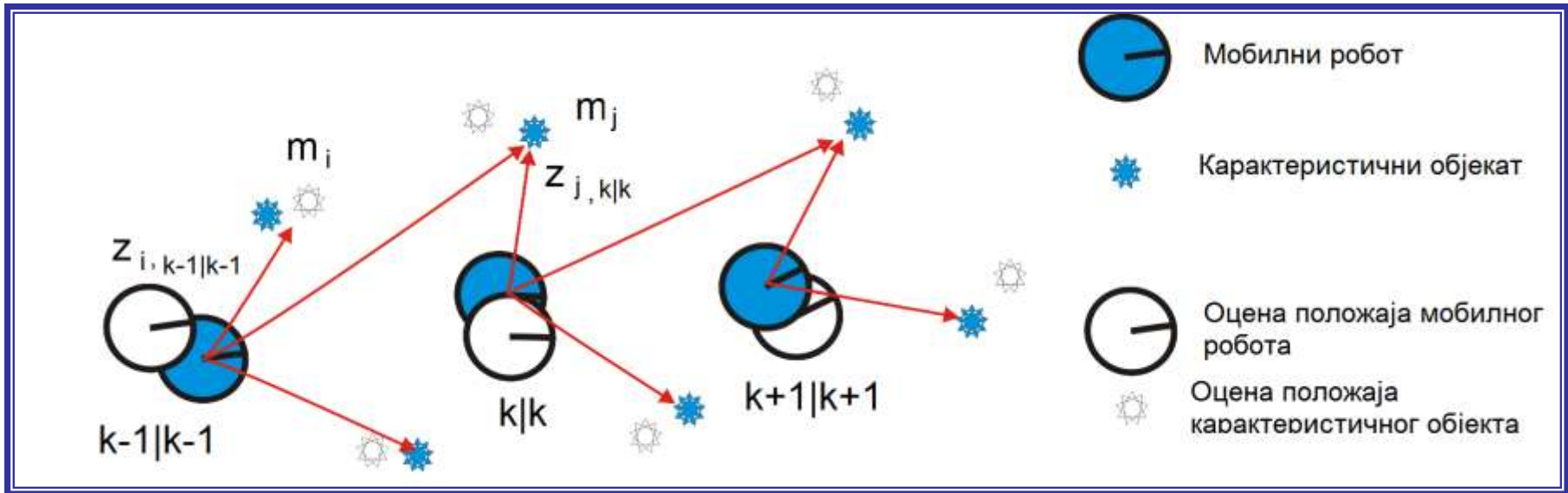
Проф. др Зоран Миљковић

Симултано оцењивање положаја мобилног робота и карактеристичних објеката

- Simultaneous Localization and Mapping (**SLAM**)
- Concurrent Localization and Mapping (CLAM)

Основна идеја:

„Да ли је могуће поставити мобилни робот у потпуно непознато окружење, на непознату позицију са непознатом оријентацијом, а да робот самостално започне постепено оцењивање положаја карактеристичних објеката у окружењу, на основу чега ће истовремено и вршити одређивање сопственог положаја? ”

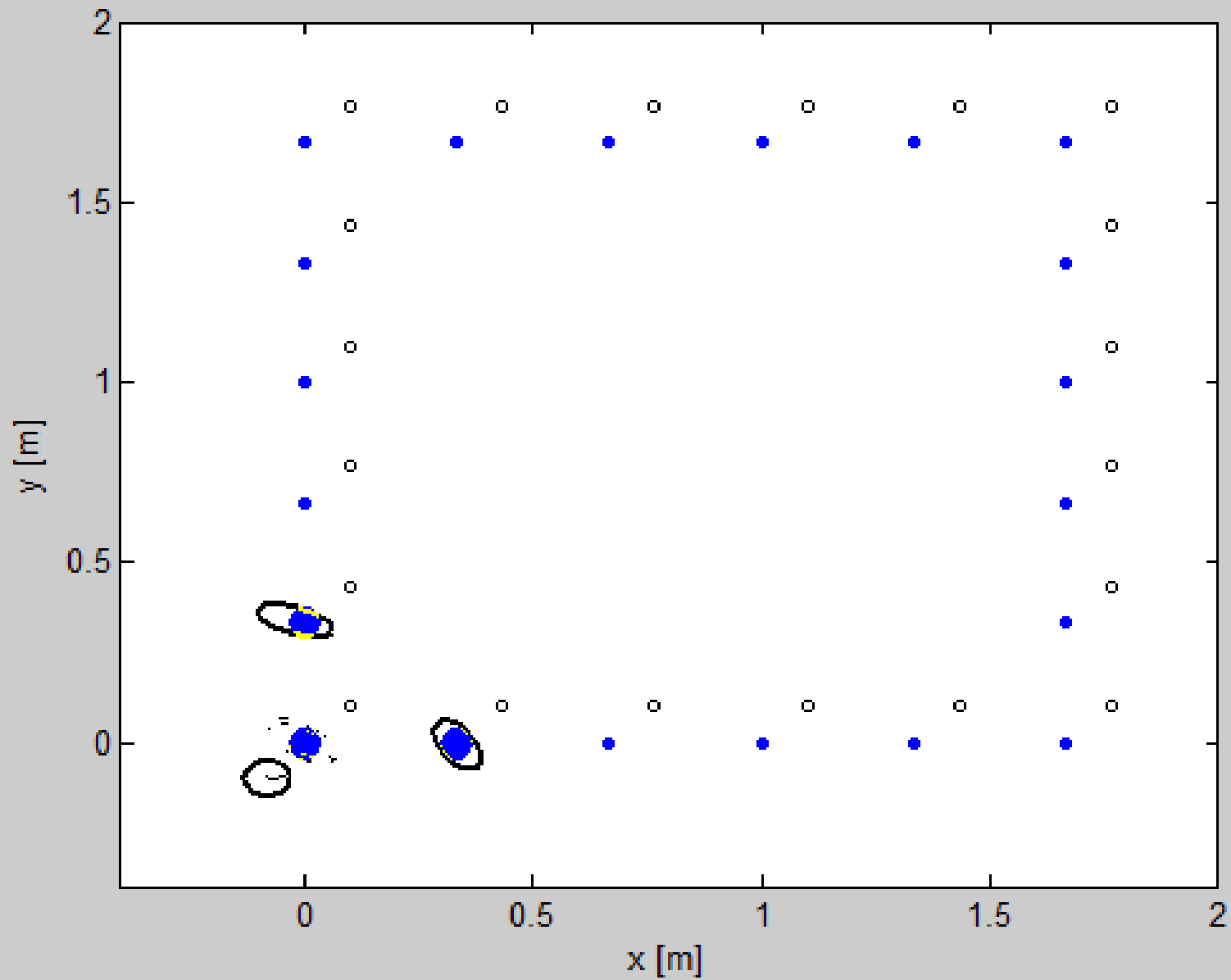


Напомена: аквизиција сензорске информације врши се између робота и карактеристичног објекта;

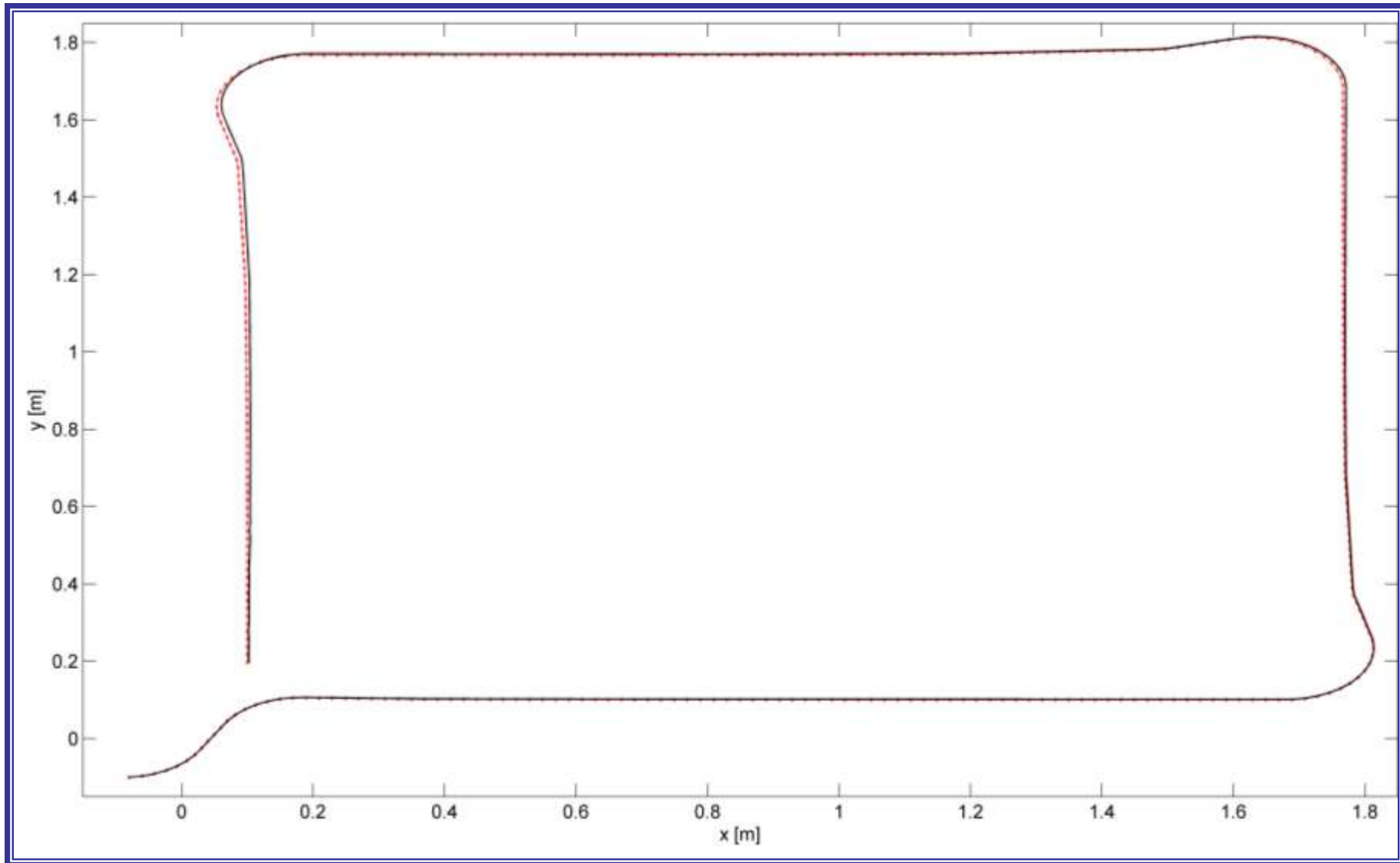
Непознате величине:

Вектор положаја мобилног робота и вектор положаја карактеристичних објеката.

$$p(\mathbf{x}_k, \mathbf{m} \mid \mathbf{z}_{0:k}, \mathbf{u}_{0:k}, \mathbf{x}_0)$$



Резултати симулације: Оцењена путања и стварна путања мобилног робота



Алгоритам неуронског линеаризованог Калмановог филтра - НЛКФ

- Линеаризовани Каманов филтар почива на претпоставкама белог шума у моделу кретања и сензорском моделу мобилног робота;
- ЛКФ потцењује грешку оцењивања - постаје оптимистичан;
- Оптимальност филтра директно утиче на тачност;
- Примери немоделираних утицаја су: обојени шум у управљачком систему, проклизавање тачкова мобилног робота у току кретања и грешке одометрије;
- *Математички модели* не могу обухватити све аспекте проблема: изразита нелинеарност или промена неких ефективних параметара мобилног робота (ефективни пречник тачка или ефективни размак између тачкова) мењају основне претпоставке на којима почива нелинеарна верзија Калмановог филтра.

Алгоритам неуронског линеаризованог Калмановог филтра - НЛКФ

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{v}(k|k-1)} \\ \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{w}(k|k-1)} \\ \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{m}(k|k-1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_{\mathbf{M}}(\cdot, \cdot) + \mathbf{x}_{vnet} \\ \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{w}(k|k-1)} \\ \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{m}(k|k-1)} \end{bmatrix}$$

- Увођење вештачке неуронске мреже
за моделирање непознатих утицаја

$$\mathbf{x}_{\mathbf{VNET}} = \mathbf{g}(\hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{v}(k-1|k-1)}, \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{w}(k-1|k-1)}, \mathbf{u}_k)$$

- Вештачка неуронска мрежа

$$\mathbf{x} = [(\mathbf{x}_{\mathbf{v}})^{\mathbf{T}} (\mathbf{x}_{\mathbf{w}})^{\mathbf{T}} (\mathbf{x}_{\mathbf{m}})^{\mathbf{T}}]^{\mathbf{T}}$$

Проширивање
вектора стања и
матрице коваријанси

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{xx} & \mathbf{P}_{xw} & \mathbf{P}_{xm} \\ \mathbf{P}_{wx} & \mathbf{P}_{ww} & \mathbf{P}_{wm} \\ \mathbf{P}_{mx} & \mathbf{P}_{mw} & \mathbf{P}_{mm} \end{bmatrix}$$

Основне
претпоставке ЛКФ-а и
даље важе...

Алгоритам неуронског
линеаризованог
Калмановог филтра:

НЛКФ је развијен за
сигмоидну активациону
функцију

$$\xi(\mathbf{x}) = \frac{1 - \exp(-2\mathbf{x})}{1 + \exp(-2\mathbf{x})}$$

као и радијалну
активациону функцију
Гаусовог типа

$$\xi(\mathbf{x}) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_i^2} \|\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_i\|^2\right)$$

...тј. НЛКФ-ВП и
НЛКФ-РАФ...

1. Алгоритам НЛКФ ($\mathbf{x}_{k-1|k-1}, \mathbf{P}_{k-1|k-1}, \mathbf{u}_k, \mathbf{z}_k$)

$$2. \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_k) = \begin{bmatrix} x_{r,k} + v_k \Delta t \cos(\theta_{r,k} + \omega_k \Delta t) \\ y_{r,k} + v_k \Delta t \sin(\theta_{r,k} + \omega_k \Delta t) \\ \theta_{r,k} + \omega_k \Delta t \end{bmatrix} + \mathbf{g}(\mathbf{w}_{k-1}, \mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_k)$$

$$3. \nabla_{\mathbf{u}} \mathbf{f} = \begin{bmatrix} \nabla_{\mathbf{u}} \mathbf{f}(\cdot) + \nabla_{\mathbf{u}} \mathbf{g}(\cdot) \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \mathbf{C}_u = \text{diag}(\varepsilon_{\sigma_v^2}, \varepsilon_{\sigma_\omega^2}); \mathbf{R} = \text{diag}(\varepsilon_{\sigma_r^2}, \varepsilon_{\sigma_\phi^2}, \varepsilon_{\sigma_s^2})$$

$$4. \mathbf{P}_{xx,k|k-1} = \nabla_{\hat{\mathbf{x}}} \mathbf{f} \mathbf{P}_{xx,k|k-1} \nabla_{\hat{\mathbf{x}}} \mathbf{f}^T + \nabla_{\mathbf{u}} \mathbf{f} \mathbf{C}_u \nabla_{\mathbf{u}} \mathbf{f}^T$$

5. for all observed features $\mathbf{z}_k^i = [r_k^i \ \phi_k^i]^T$ do

6. if landmark has been seen before

$$7. \hat{\mathbf{z}}_k^i = \begin{bmatrix} \sqrt{(m_{jx} - x_{r,k})^2 + (m_{jy} - y_{r,k})^2} \\ a \tan 2(m_{jy} - y_{r,k}, m_{jx} - x_{r,k}) - \theta_{r,k} \end{bmatrix};$$

$$8. \mathbf{H}_k^i = \nabla_{\mathbf{x}} \hat{\mathbf{z}}_k^i = \begin{bmatrix} \nabla_{x_r} \mathbf{h}(\cdot) & \nabla_{x_w} \mathbf{h}(\cdot) & \nabla_{x_m} \mathbf{h}(\cdot) \end{bmatrix}$$

$$9. \mathbf{K}_k^i = \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^i (\mathbf{H}_k^i \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^{iT} + \mathbf{R})^{-1}$$

$$10. \hat{\mathbf{x}}_{k|k} = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k^i (\mathbf{z}_k^i - \hat{\mathbf{z}}_k^i)$$

$$11. \mathbf{P}_{k|k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k^i \mathbf{H}_k^i) \mathbf{P}_{k|k-1}$$

12. else

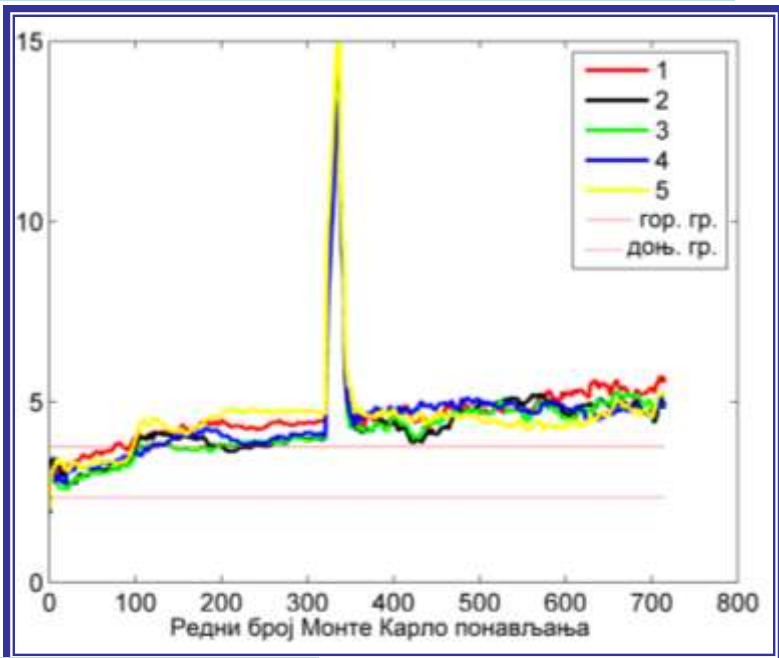
$$13. \mathbf{m}_n = \mathbf{m}_n(\hat{\mathbf{x}}_{r,k|k-1}, \mathbf{z}_k) = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{m}}_{j,x} \\ \hat{\mathbf{m}}_{j,y} \\ \hat{\mathbf{m}}_{j,s} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_{xx,k|k-1} = \mathbf{J}_{aug} \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{xx,k|k-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R} \end{bmatrix} \mathbf{J}_{aug}^T$$

14. end if

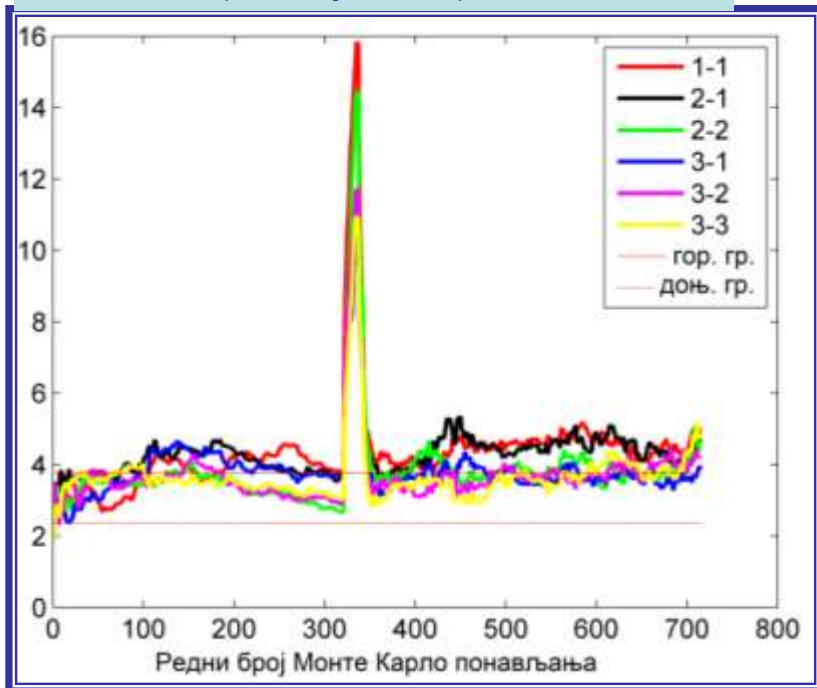
15. end for

16. return $\hat{\mathbf{x}}_{k|k}, \mathbf{P}_{k|k}$

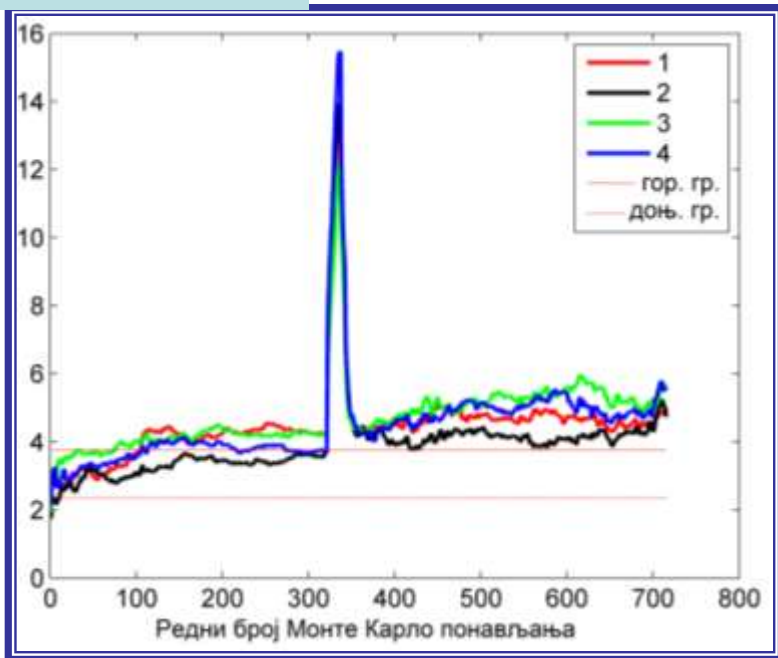
1. НЛКФ-ВП (једнослојне ВНМ)



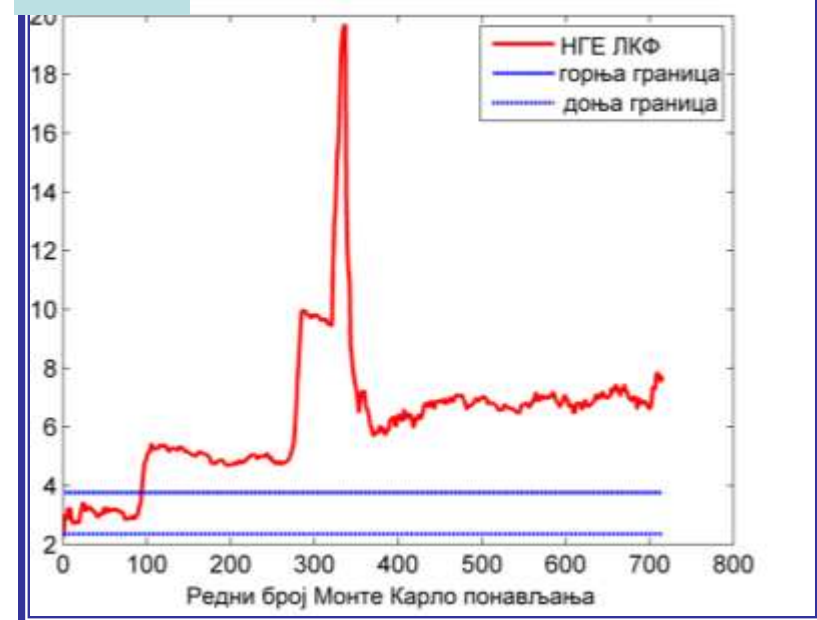
2. НЛКФ-ВП (двослојне ВНМ)



3. НЛКФ-РАФ



4. ЛКФ

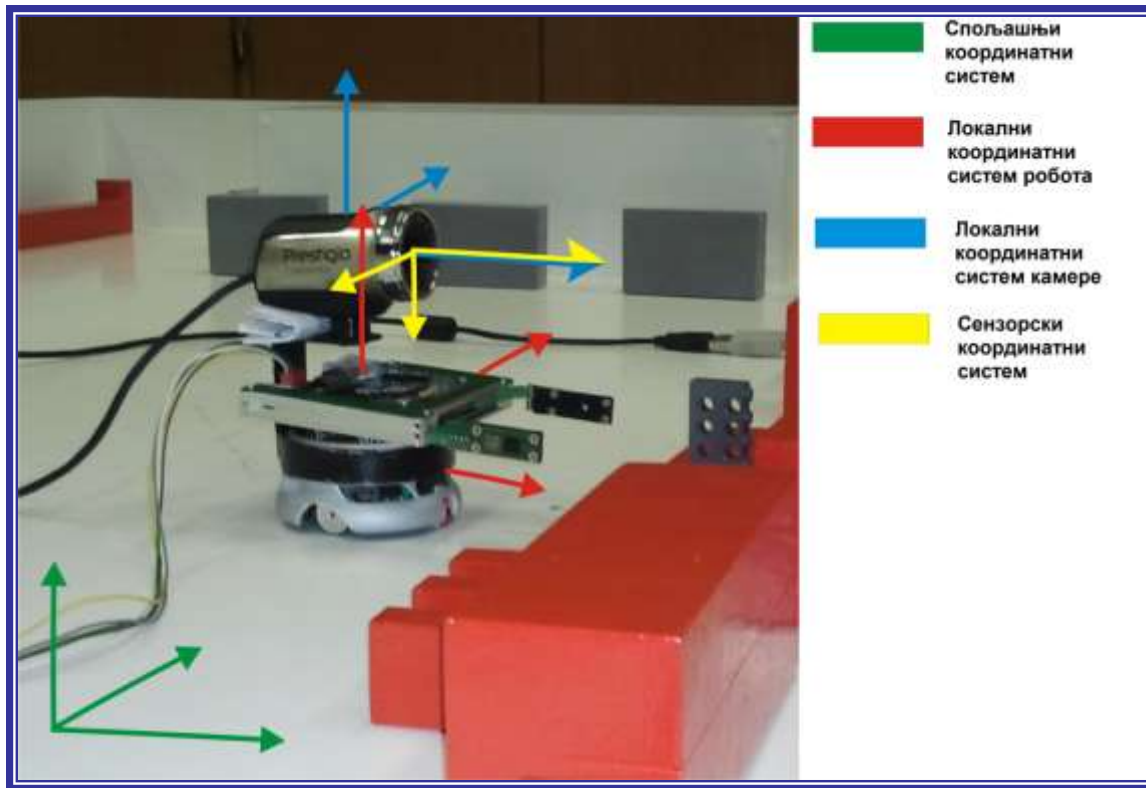


Дискусија

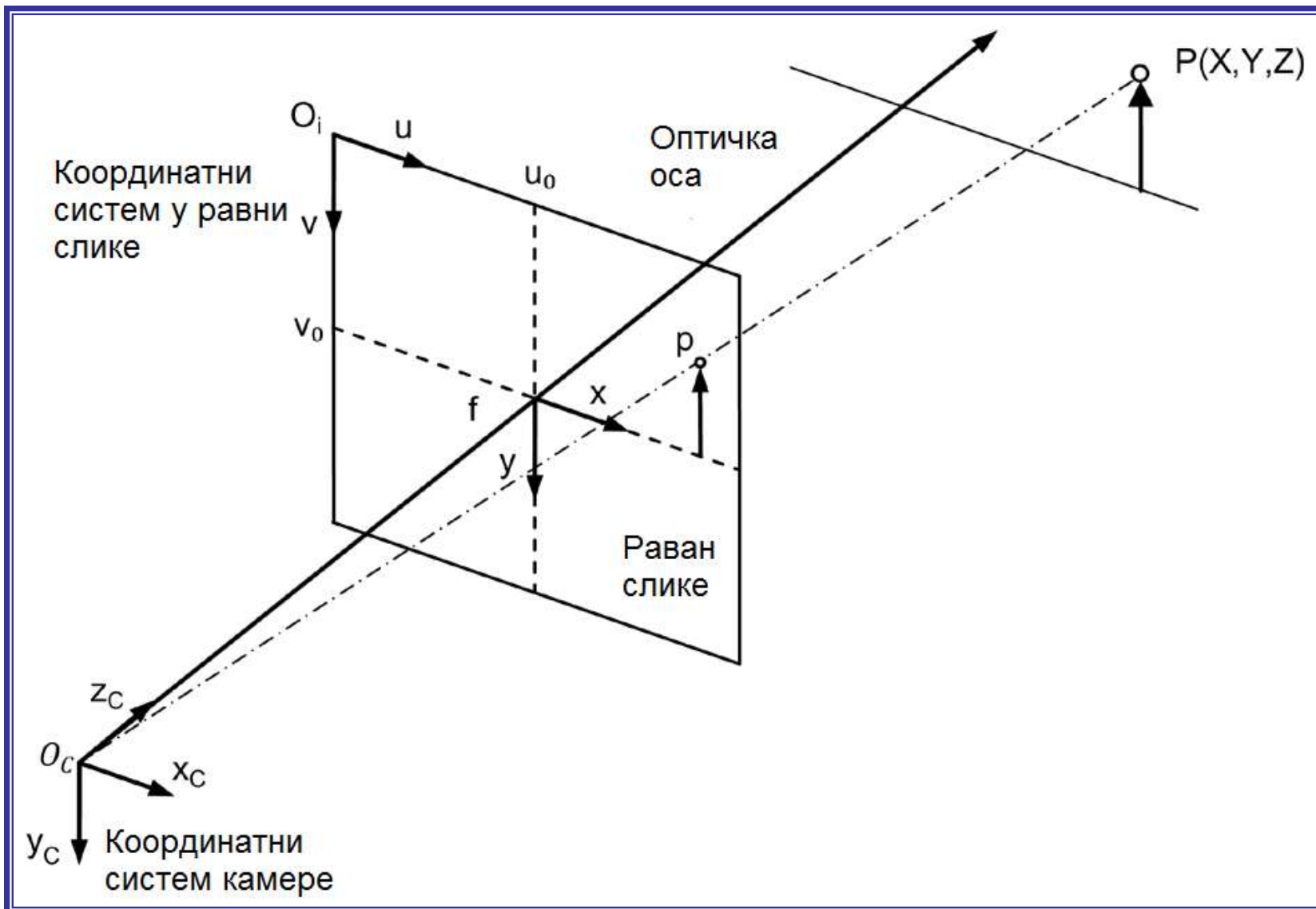
- Неизбежно је да ЛКФ потцени грешку, услед чега постаје оптимистичан;
- Проблем представљају и конструктивне карактеристике мобилног робота које значајно могу да утичу на управљачку команду;
- Да би компензовали овај утицај конструкције на процес оцењивања положаја током кретања, развијен је нови вид линеаризованог Калмановог филтра интегрисан са вештачком неуронском мрежом;
- Монте Карло симулација показала је да је нормализована грешка оцењивања мања код НЛКФ оцена (без обзира на тип филтра – НЛКФ-ВП или НЛКФ-РАФ);
- Приликом поновне детекције карактеристичних објеката (затварање петље), НЛКФ генерише боље оцене грешке, па самим тим и остаје у оквиру граница одређених бројем независних Монте Карло понављања.

Симултано оцењивање положаја мобилног робота и карактеристичних објеката уз примену система препознавања на бази калибрисане камере

- Симулација => Реални свет
- Применити НЛКФ-а на мобилном роботу;
- Искористити предности НЛКФ-а у експерименталном процесу;
- Моделирање непознатих недетерминистичких утицаја у реалном времену модификацијом параметара вештачке неуронске мреже



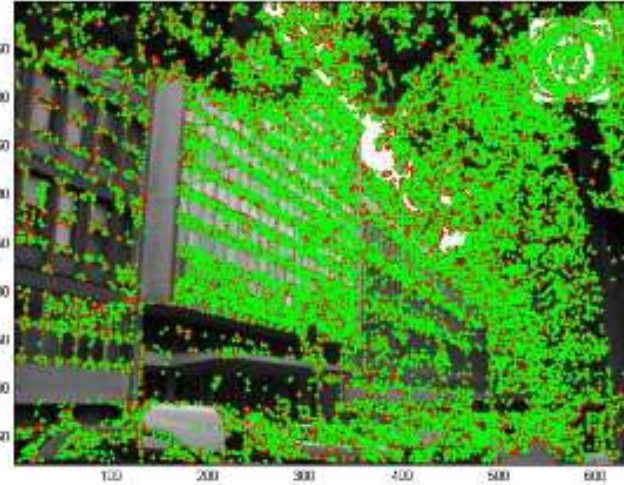
Модел инфинитезимално малог отвора бленде (pinhole camera)



- Карактеристични објект предстaвља објект у равни слике који се на неки оптималан начин разликује од осталих;



а)



б)



в)



г)

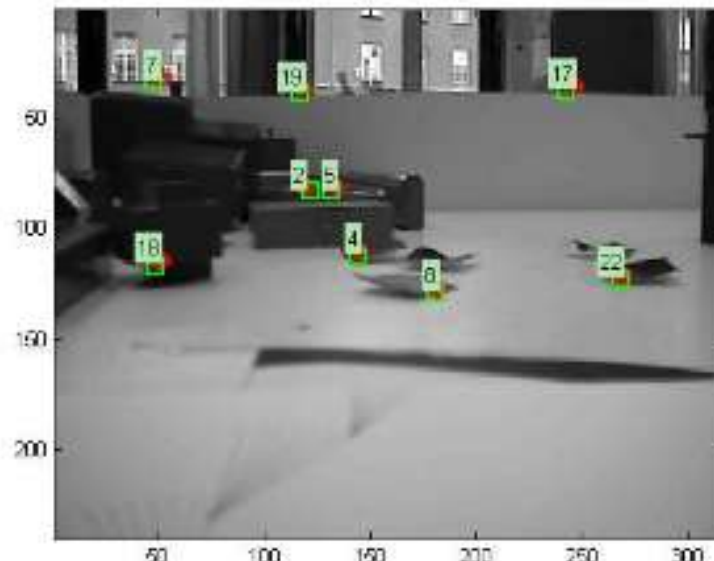
Дефинисање
карактеристичних
објеката у „меморији”
филтра:

- позиција у равни слике -
(u,v) координате
(дефинисана применом
алгоритма препознавања);

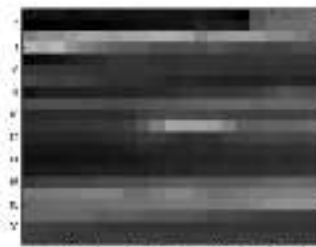
- део слике димензија (20
[pxl] x 20 [pxl]), где је
идентификовани објекат у
центру.

тј. вектор мерења
је:

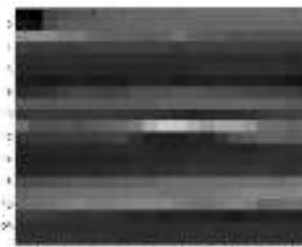
$$\mathbf{z}_i = [u_i \quad v_i \quad s_i]^T$$



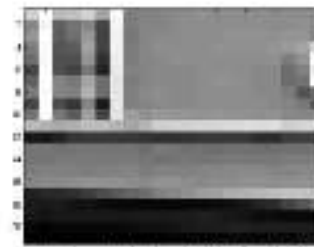
а) Идентификовани карактеристични објекти.



б) #2



в) #5



г) #7



д) #17



б) #18



е) #22

Експериментални резултати

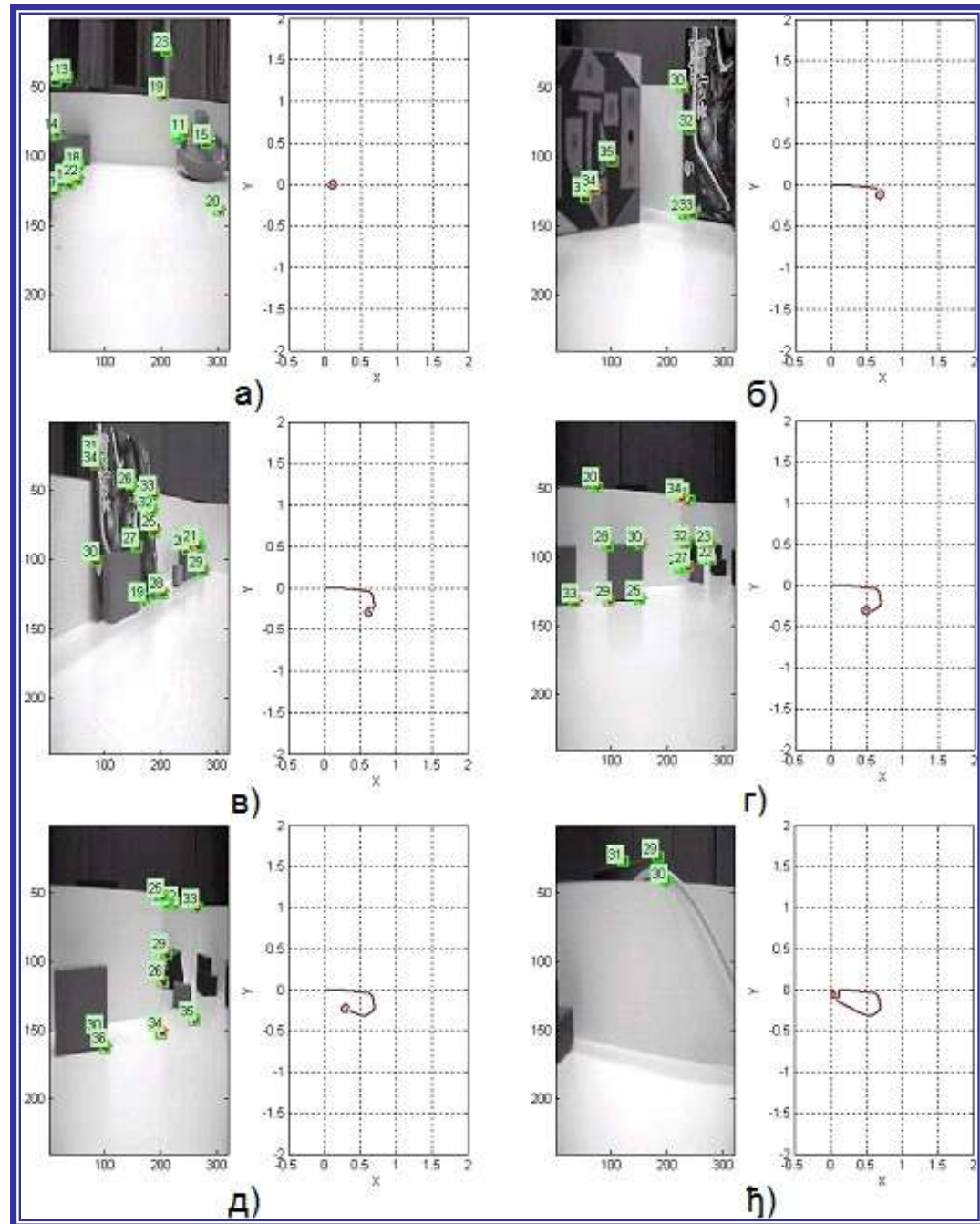


- Мобилни робот Khepera II
- USB камера (320x240)
- Десктоп рачунар (2,20 GHz; 1 GB RAM)
- RS232 (мобилни робот и рачунар)
- USB (камера и рачунар)

Неуронски линеаризовани Калманов филтар- експериментални резултати

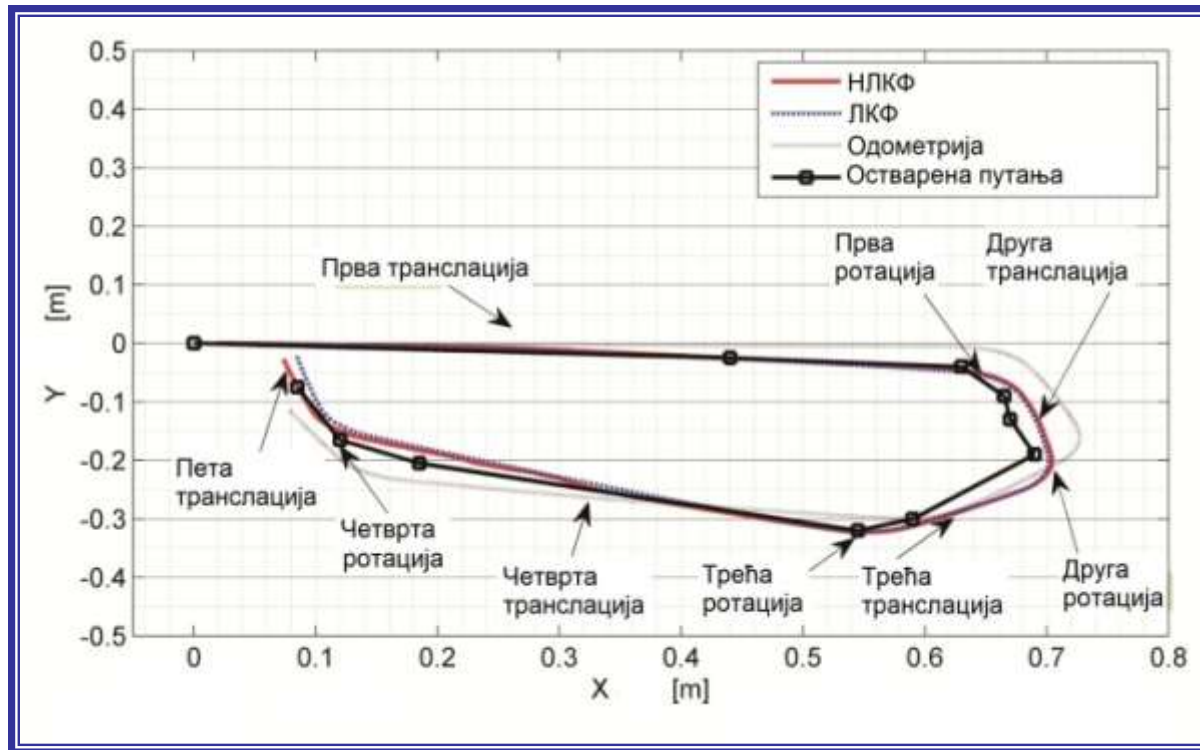
- Са леве стране су дате
НЛКФ оцене позиција свих
карактеристичних објекта

- Са десне стране је НЛКФ
оцена положаја мобилног
робота

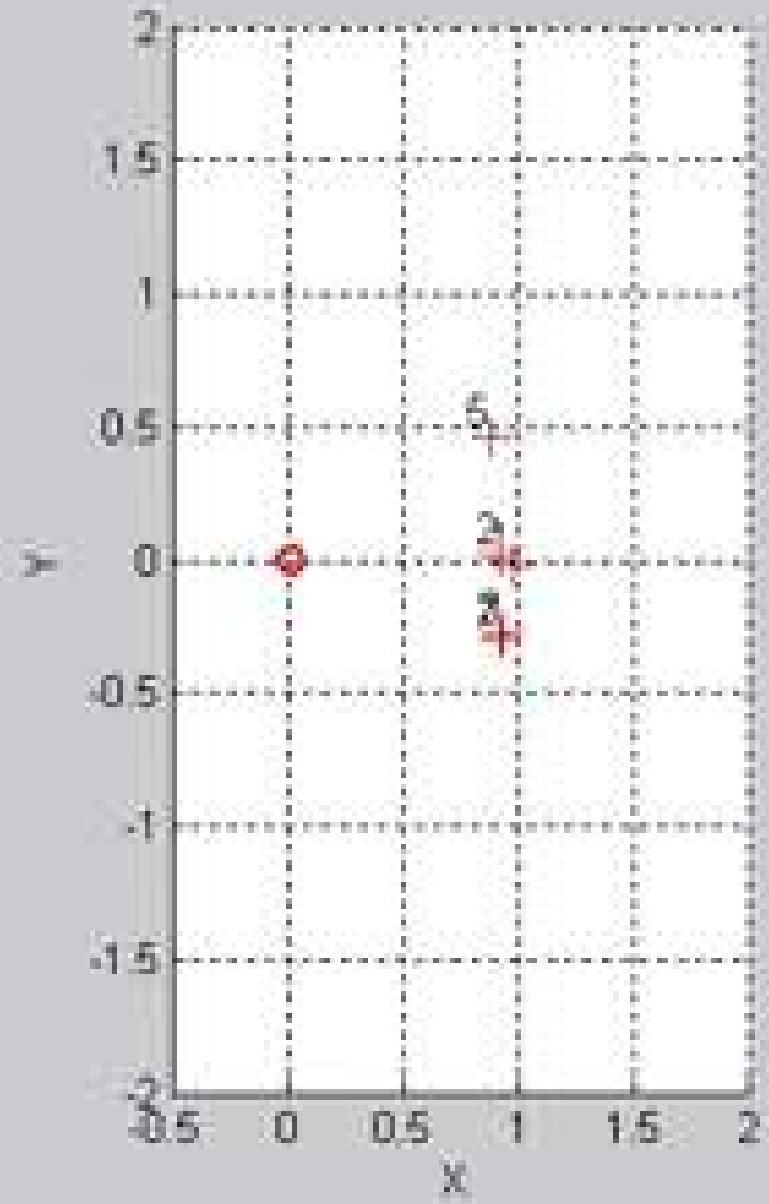
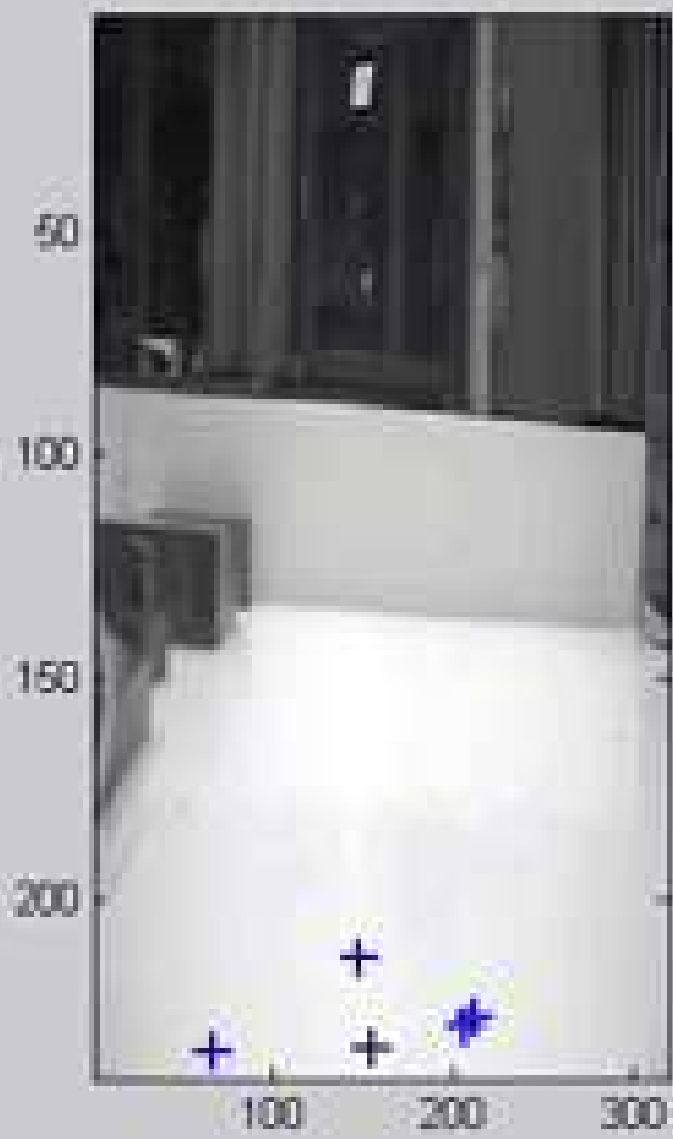


Упоредни приказ
НЛКФ, ЛКФ и
одометријских оцена
 положаја мобилног
 робота (путање)

$$e = \sqrt{(\mathbf{r}_{filt} - \mathbf{r}_{sto})^T (\mathbf{r}_{filt} - \mathbf{r}_{sto})}$$



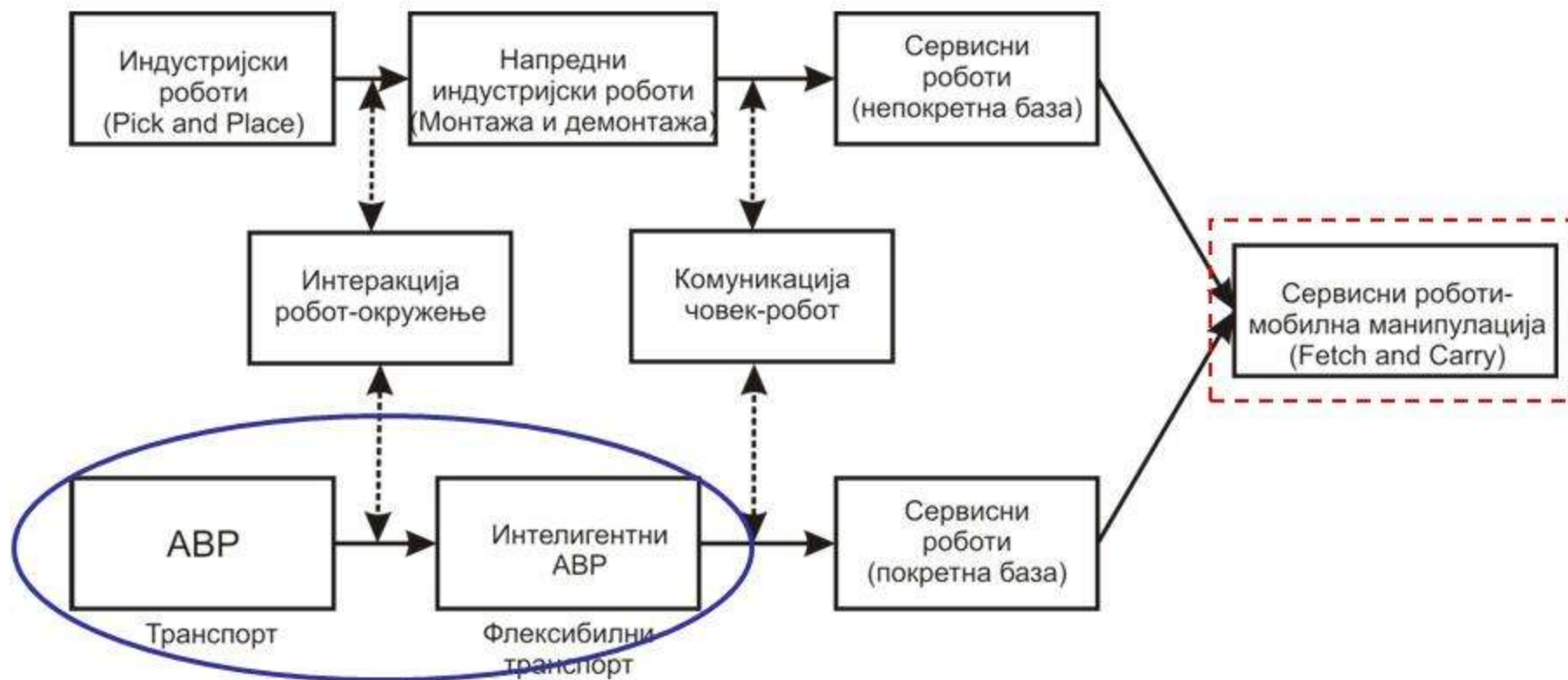
	<u>НЛКФ</u>	<u>ЛКФ</u>	<u>Одометрија</u>
<u>Грешка дуж</u> <u>путање [m]</u>	0.4002	0.4258	0.800
<u>САГ [m]</u>	0.0155	0.0166	0.0369
<u>Максимална</u> <u>грешка [m]</u>	0.0636	0.0675	0.1044



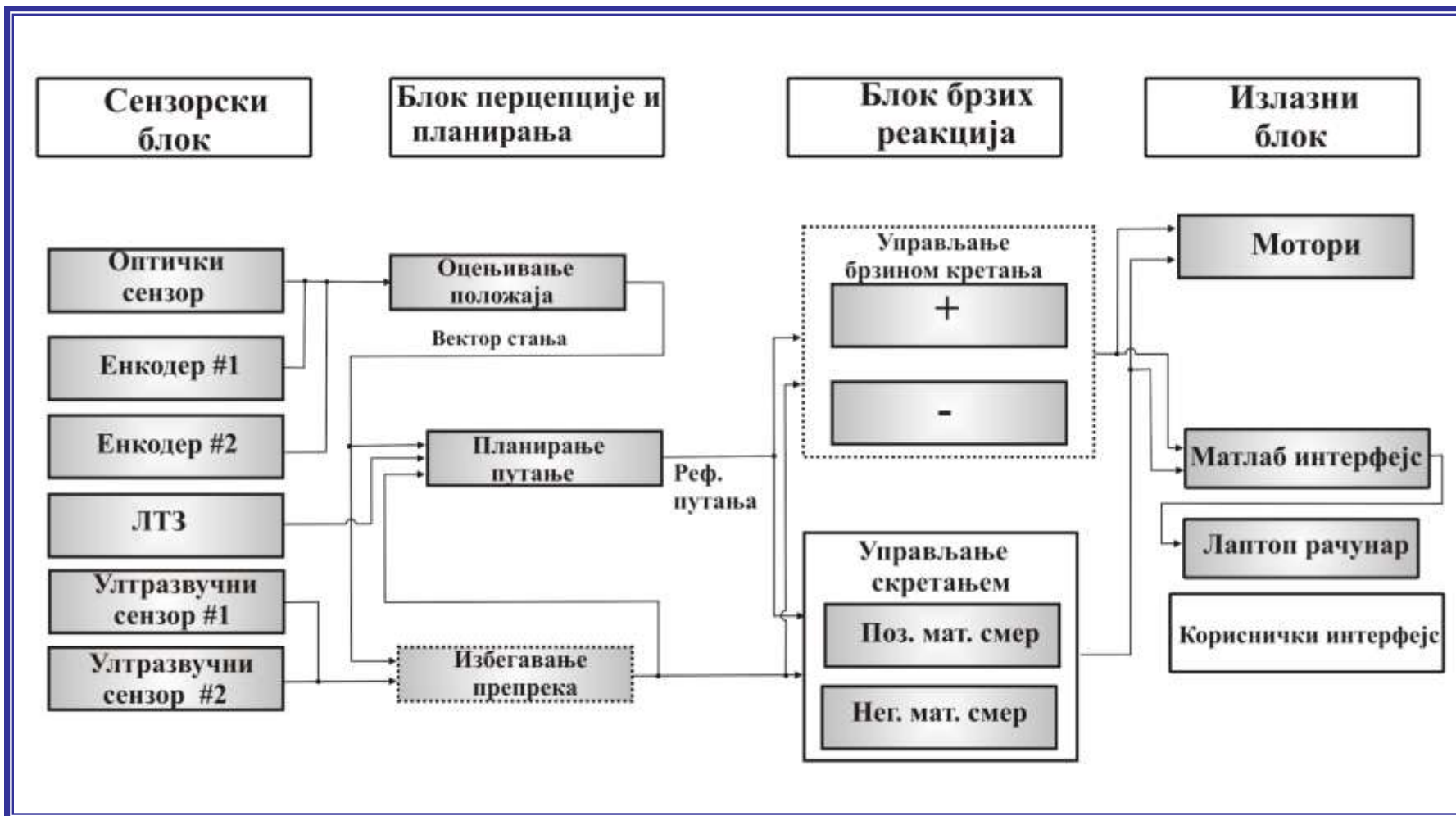
Дискусија

- Неуронски линеаризовани Калманов филтар омогућује *on line* модификацију параметара вештачке неуронске мреже (машинско учење) током експлоатације мобилног робота;
- Претпоставља се да вештачка неуронска мрежа може да научи (оцени) нелинеарну везу која постоји између стања мобилног робота и управљачких величина;
- Информације о овој функционалној зависности се „налазе” у параметрима вештачке неуронске мреже;
- Експериментални резултати потврђују да **НЛКФ** у идентичним контролисаним условима генерише оцену положаја мобилног робота више тачности о ЛКФ-а и одометрије.

Еволуција роботике



Нова хибридна управљачка архитектура



LEGO Mindstorms NXT

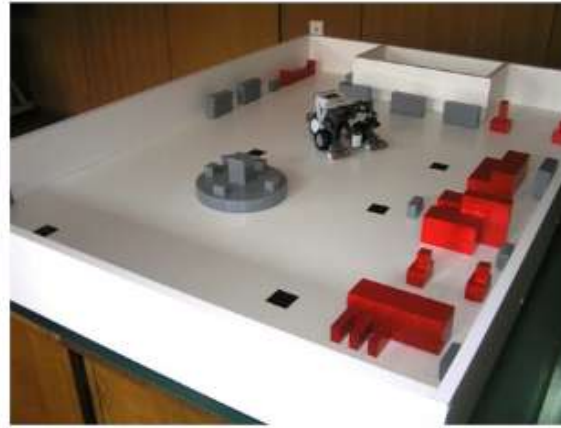
- Ecole Polytechnique
Fédérale de Lausanne –
(EPFL)

- University Carnegie
Mellon – The Robotics
Institute

- University of Aachen

- University of Zurich
(проф. др Ролф Фајфер)

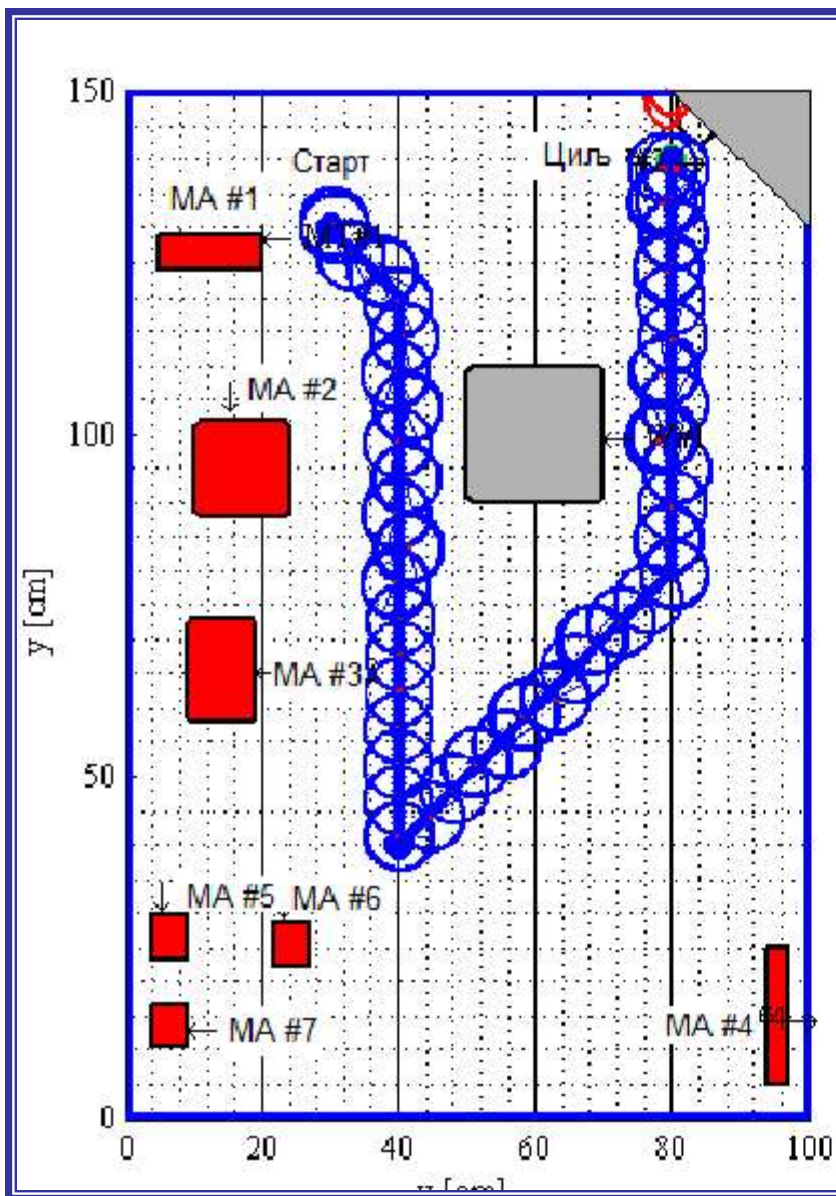
- ...



Техничке карактеристике - **LEGO Mindstorms NXT** мобилни робот.

Назив	Опис
Управљачки систем	32-битна управљачка јединица са LCD технологијом
Погонски систем	Три DC мотора са инкременталним енкодерима
Основни сензори	Ултрасонични сензор. Домет ~ 2,5 [m]
Улаз/излаз (I/O)	USB 2.0 и Bluetooth interface
Напајање	Батерије
Комуникациони протокол	USB 2.0
Управљачки софтвер	<u>MATLAB®</u> преко <u>USB порта</u>

Експериментални резултати



а)



б)



в)



г)

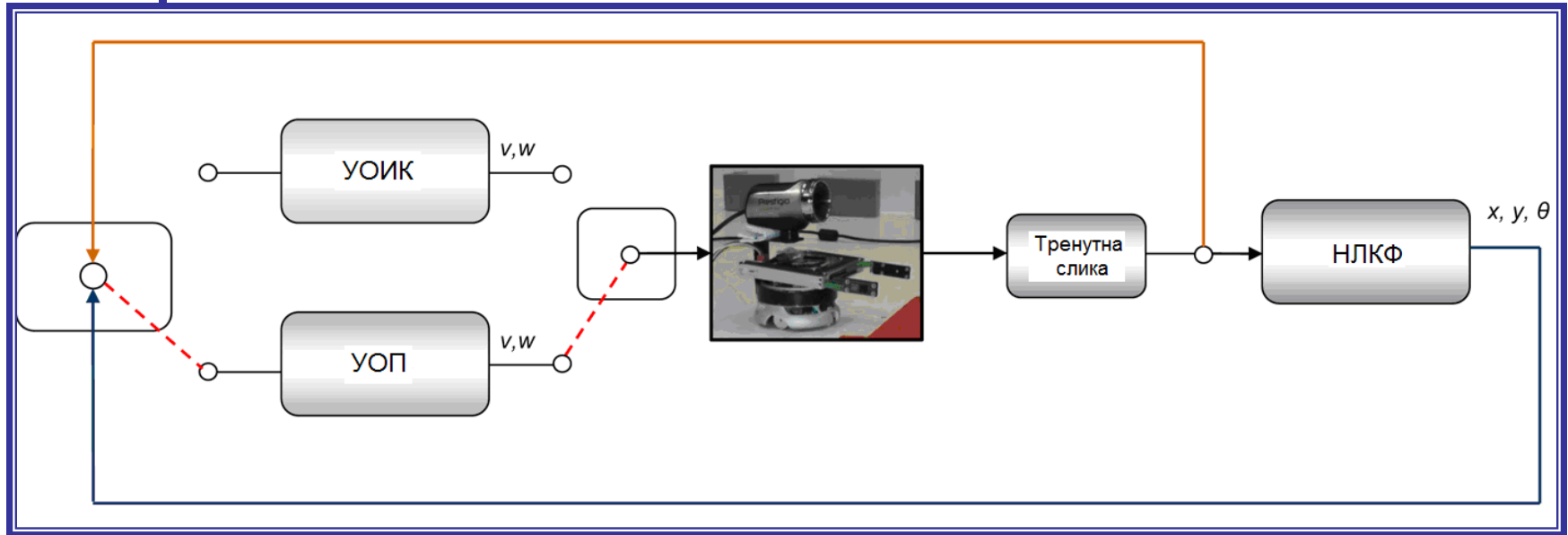


д)



е)

Нови хибридни алгоритам за управљање мобилним роботима на основу повратне информације од камере



УОИК – управљање на основу повратне информације од камере

УОП – управљање на основу положаја

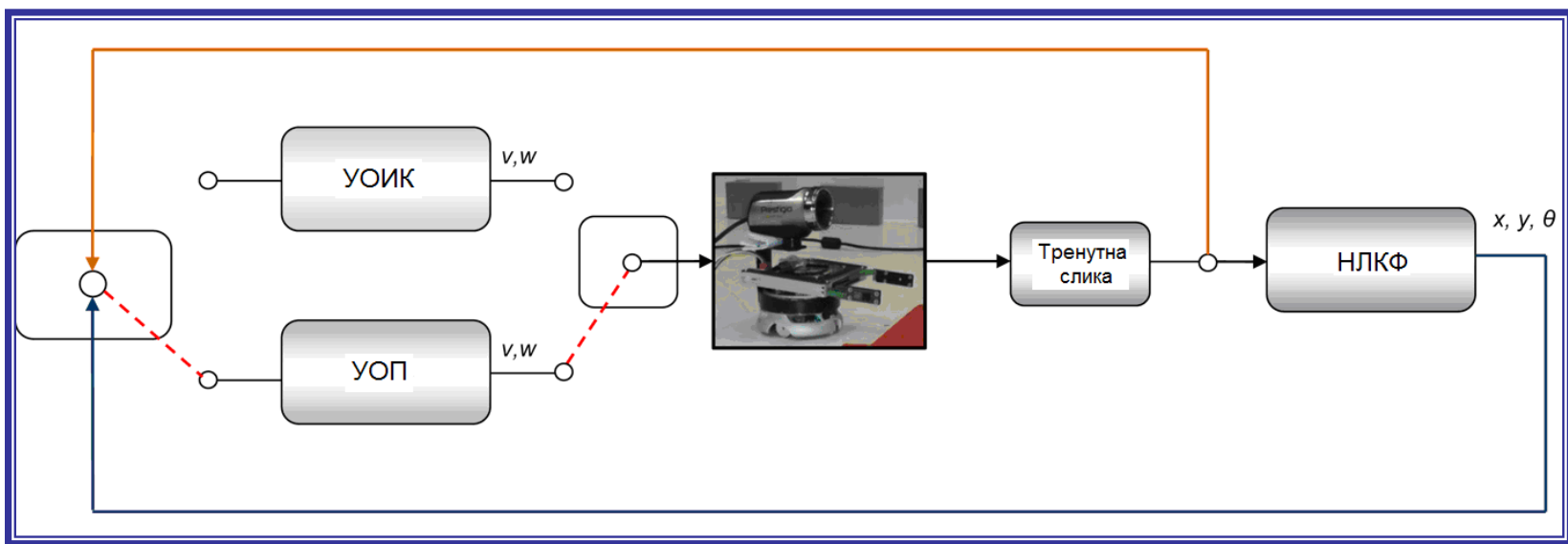
НЛКФ – неуронски линеаризовани Калманов филтар

$$p = [x, y, \theta]^T$$

- Вектор стања

$$u = [v, \omega]^T$$

- Управљања



- Транспортни задатак раздвојен је на два дела:

- **глобално управљање** (од тренутног положаја до положаја непосредно испред машине алатке или међускладишта) и

- **локално управљање** (од положаја непосредно испред машине алатке или међускладишта до саме машине алатке или међускладишта).

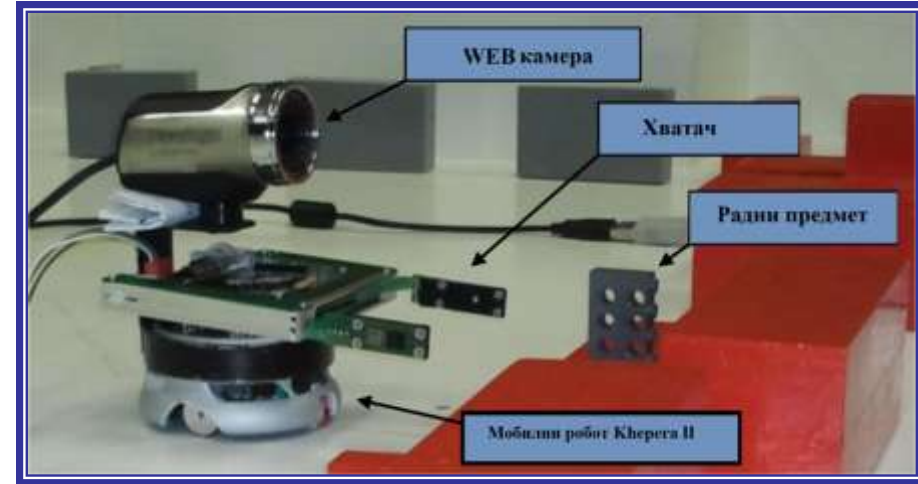
- Елиминисана потреба за транспортном инфраструктуром у виду жица или карактеристичних маркера;

Елиминисана потреба за информацијом о положају и облику свих објеката у оквиру посматраног технолошког окружења;

- **Предност:** промена распореда машина алатке или међускладишта,

Техничке карактеристике – основна конфигурација Khepera II (KheIIBase).

Назив	Опис
Процесор	Motorola 68331, 25 [MHz]
Оперативна меморија	512 Kbytes
Погонски систем	2 DC серво мотора са уграђеним инкременталним енкодерима (око 12 пулсева по [mm] кретања робота)
Максимална и минимална брзина кретања робота	Максимална брзина кретања: 0.5 [m/s], Минимална брзина кретања: 0.02 [m/s]
Основни сензори	Осам infra-red сензора растојања. Домет сензора: око 0,08 [m].
Напајање	Адаптер за директно напајање преко мреже или батерије
Димензије робота	Пречник: 70 [mm] Висина: 30 [mm]
Управљачки софтвер	MATLAB® преко R



Техничке карактеристике WEB камере Prestigio PWC2.

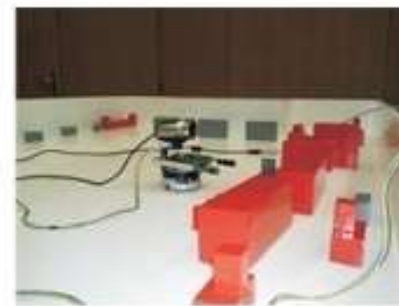
Назив	Опис
Резолуција сензора	2 Мрхl
Димензија сензора	1/4" CMOS
Фокус	0,03 [m] - ∞
Максимална резолуција	1600x1200
Фреквенција прикупљања информација	30 fps (30[Hz]) са 640x480 резолуцијом
Улаз/излаз (I/O)	USB 2.0
Напајање	Директно напајање преко рачунара.
Комуникациони протокол	USB 2.0

Експериментални резултати:

- а)-б) кретање од почетног положаја до првог циљног положаја (УОП петља);
- б)-д) кретање од првог циљног положаја до прве машине алатке и преузимање радног предмета (УОИК петља);
- д)-з) кретање од прве машине алатке до другог циљног положаја (УОП петља);
- з)-к) кретање од другог циљног положаја до друге машине алатке и постављање радног предмета на жељену позицију (УОИК петља).



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)



и)



ј)



к)



л)

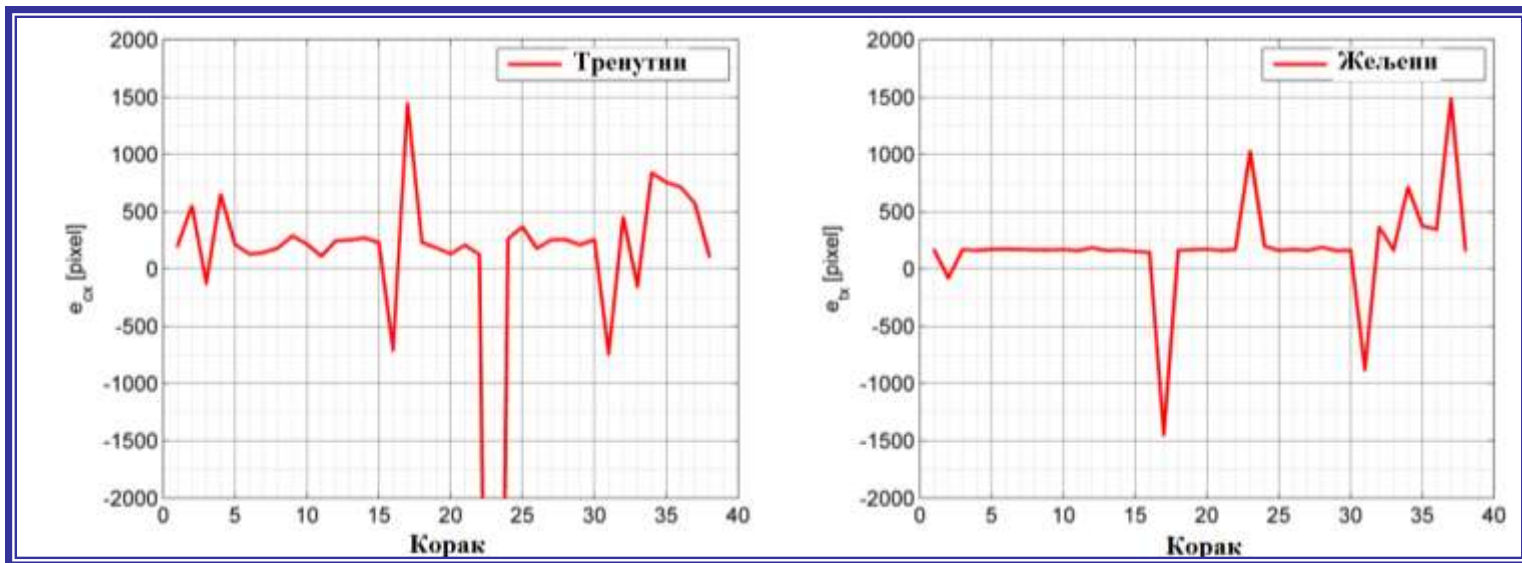
Експериментални резултати:



Почетна слика
након првог сегмента УОИК петље.

Циљна слика

Завршна слика



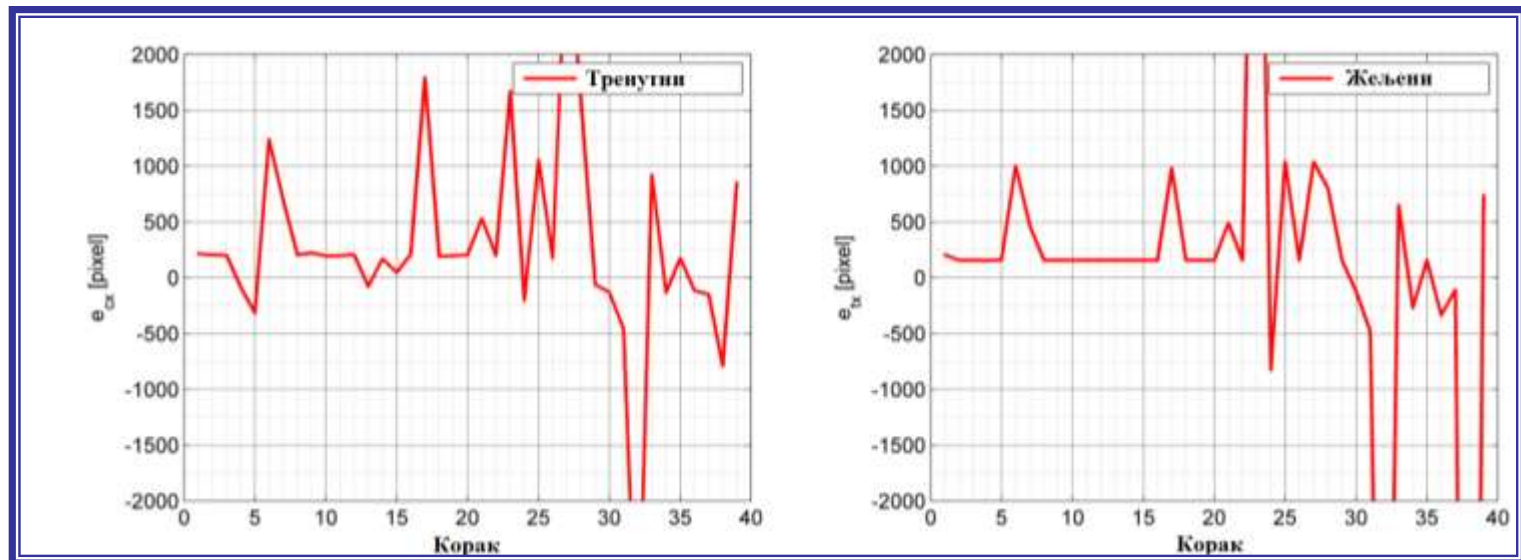
Експериментални резултати:



Почетна слика
након другог сегмента УОИК петље.

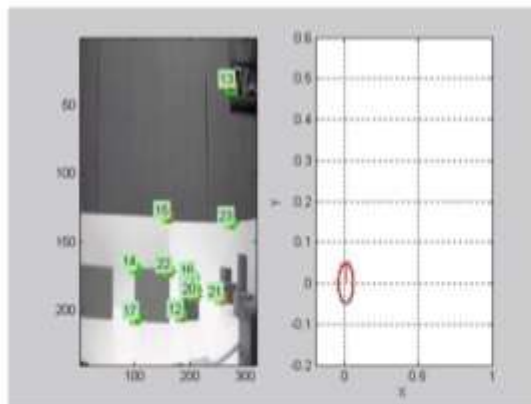
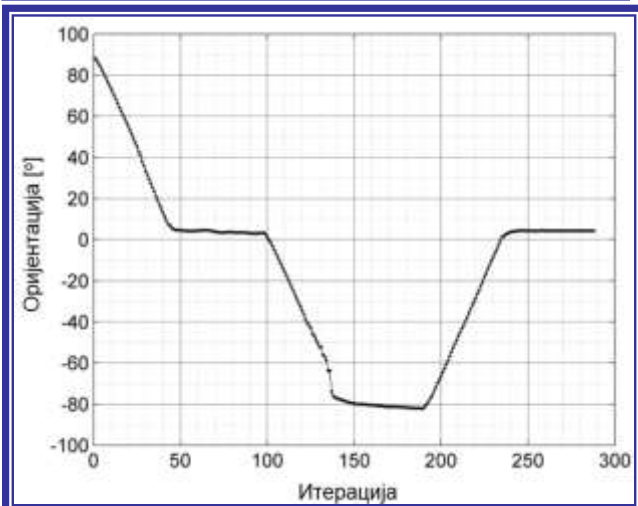
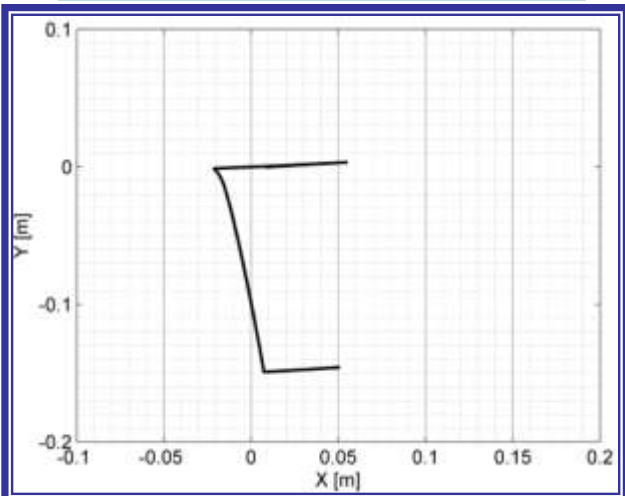
Циљна слика

Завршна слика

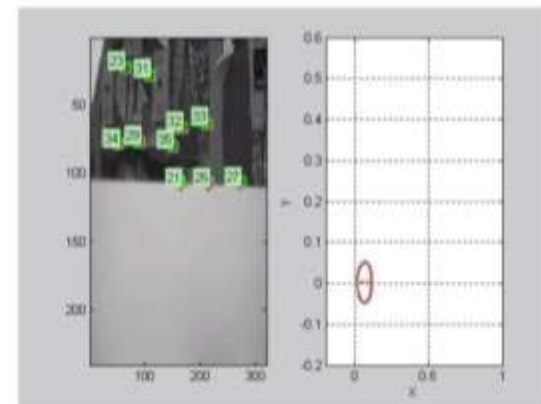


Експериментални резултати:

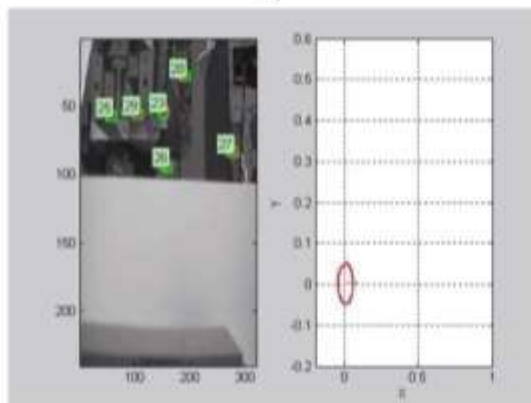
-НЛКФ оцене положаја мобилног робота;



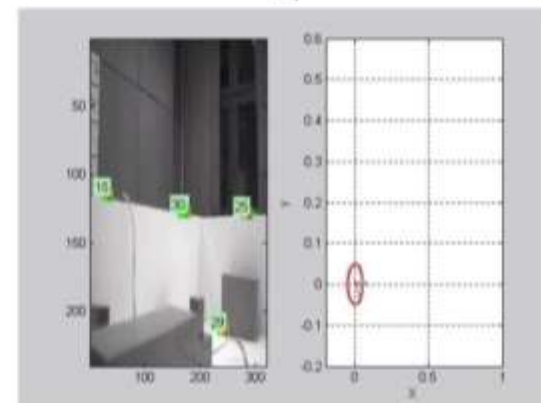
а)



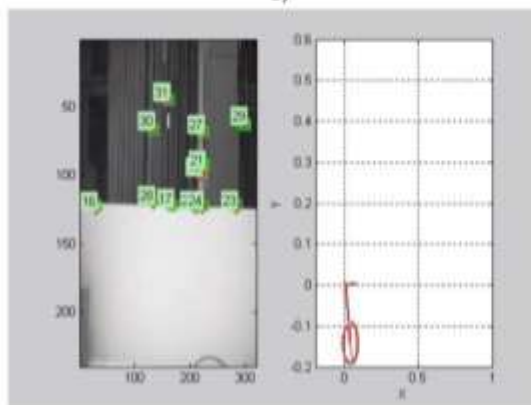
б)



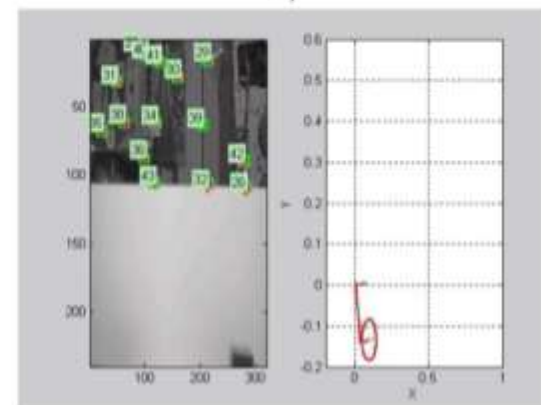
в)



г)



д)



е)

Дискусија

- Камера је примењена за навођење према жељеном положају који је дефинисан циљном сликом ради преузимања радног предмета
- Камера обезбеђује информацију неопходну оцењивање положаја АВР на основу неуронског линеаризованог Калмановог филтра;
- Експериментални резултати потврђују да развијени нови хибридни управљачки алгоритам омогућава обављање транспортног задатка, који се састоји од навигације између међускладишта/машина алатки и преузимања/постављања радног предмета;
- За примену развијеног хибридног управљачког алгоритма нису потребни вештачки постављени карактеристични објекти у технолошком окружењу ради навигације АВР;
- Структура НЛКФ алгоритма обезбеђује примену других Гаусовских филтара (АСАМ или ЛИФ);
- За остваривање фреквенције од 30 [Hz] неопходан додатни хардвер.



**Хвала вам на
пажњи!**

Питања?

