

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 2401/2  
ДАТУМ: 14.12.2012.

На основу захтева руководиоца пројекта проф.др Бојана Бабића бр. 2401/1 од 13.12.2012. године и чл. 12.5 Статута Машинског факултета, Истраживачко стручно веће на седници од 13.12.2012. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

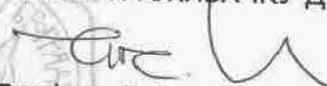
Да се за рецензенте Техничког решења рађеног у оквиру пројекта ТР 35004, под насловом: **„Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота на бази машинског учења демонстрацијом и хомографије добијене од некалибрисане камере“**, чији су аутори: Марко Митић, дипл.инж.маш., проф.др Зоран Миљковић, Најдан Вуковић, дипл.инж.маш. и проф.др Бојан Бабић, именују:

- проф.др Жарко Ћојбашић, Машински факултет у Нишу и
- доц.др Радиша Јовановић.

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.

ПРОДЕКАН  
ЗА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКУ ДЕЛАТНОСТ



  
Проф.др Војкан Лучанин

Одлуком Истраживачко-стручног већа Машинског факултета у Београду бр. 2401/2 од 14.12.2012. године именовани смо за рецензенте нове методе под називом „Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота на бази машинског учења демонстрацијом и хомографије добијене од некалибрисане камере” аутора: Марко Митић, дипл. инж. маш., проф. др Зоран Миљковић, др Најдан Вуковић, дипл. инж. маш., проф. др Бојан Бабић. На основу предлога и након анализе методе подносимо следећи:

## ИЗВЕШТАЈ

**Нова метода (М85)** под називом „Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота на бази машинског учења демонстрацијом и хомографије добијене од некалибрисане камере” представљена је на 11 страница А4 формата, коришћењем Times New Roman фонта величине 11 pt, једноструког проредка. Опис методе садржи 17 једначина, 8 слика и 1 табеларни приказ резултата примене нове методе представљених у следећих шест тематских целина, уз списак коришћене литературе:

1. Област на коју се техничко решење односи,
2. Технички проблем,
3. Постојеће стање у свету,
4. Суштина техничког решења,
5. Приказ резултата примене,
6. Закључак.

Техничко решење припада области производних технологија и директно се односи на решавање проблема управљања интелигентног мобилног робота применом емпиријске управљачке теорије. Развијени управљачки систем обухвата интеграцију интелигентног система базираног на емпиријски прикупљеним сензорским информацијама, машинском учењу демонстрацијом (заједно са системом вештачких неуронских мрежа) и управљачког подсистема заснованог на елементима хомографске матрице добијене од некалибрисане камере.

У оквиру другог поглавља образложен је технички проблем и дате су теоријске основе оба подсистема управљања базираних на информацијама од камере. У основим цртама представљене су теоријске поставке управљачког система на основу хомографских елемената добијених од некалибрисане камере, као и теоријске поставке машинског учења демонстрацијом. Изведен је израз за израчунавање линеарне брзине мобилног робота на основу естимације хомографије, уз приказ основних геометријских релација између два произвољна положаја камере. Описана су три основна модула машинског учења демонстрацијом који су, заједно са системом вештачких неуронских мрежа, коришћени за убрзање конвергенције развијеног емпиријског алгоритма ка оптималном решењу. Модул демонстрација подразумева запис сензорских вредности неопходних за успешно извршавање постављеног задатка; модул машинског учења односи се на процес нелинеарног пресликавања скупа улазних података (очитавања са спољашњег сензора - камере) у скуп излазних података (скуп акција робота); модел научених акција обухвата извршавање сваке од акција и израчунавање грешке са аспекта успешности нелинеарног пресликавања скупова дефинисаних у претходном модулу. Такође, дата је математичка подлога оба управљачка подсистема уз навођење референтне литературе.

У трећем поглављу наведено је постојеће стање у свету. Иако не постоји много примера интеграције дефинисаних управљачких подсистема, актуелни резултати истраживања су детаљно описани. Девет референтних научних публикација је издвојено, приказујући релевантна истраживања од 1995. године до данас. Описани су научни радови који се односе на човека и роботски систем као демонстраторе успешног понашања сходно разматраном проблему управљања. На крају одељка истакнуто је истраживање у коме је представљено поређење више различитих типова вештачких неуронских мрежа (ВНМ) при обучавању роботских система путем машинског учења демонстрацијом.

Четврто поглавље садржи суштину техничког решења приказану кроз концепцијско решење емпиријског управљачког система. Представљени алгоритам приказује ток информација у емпиријском управљачком систему реализованог у *Matlab*<sup>®</sup> софтверском пакету. Следеће

активности су извршене пре *online* фазе управљања: формирање скупа обучавајућих парова; подешавање почетних вредности тежинских односа ВНМ на мале случајно изабране величине; одабир архитектуре ВНМ и параметара обучавања; подешавање појачања линеарне брзине; аквизиција жељене слике и одређивање параметра активације управљачког подсистема. Пре експерименталне верификације у реалном времену извршено је обучавање ВНМ у *offline* режиму. Растојање (*u* координата) између одабраног карактеристичног објекта у сликама у тренутном и жељеном положају мобилног робота представља улаз у ВНМ. Излазне вредности ВНМ чине команду актуатора робота са циљем кориговања оријентације. Обучено је укупно 18 различитих ВНМ, а оптимална архитектура изабрана је по критеријуму најмање средње квадратне грешке (*MSE*) за „тест“ скуп података. Управљање мобилног робота се завршава уколико је разлика у положајима карактеристичних објеката у равни обе слике испод претходно прописане границе.

Пето поглавље приказује експерименталну верификацију развијеног управљачког система на мобилном роботу *Khepera II – KheIIBase* са компатибилном камером *CMUCam VISION TURRET–KheCMUCam*. Комуникација између *TOSHIBA* лаптоп рачунара и робота, као и између рачунара и камере се извршава путем USB адаптера. Упоредни приказ резултата обучавања 18 различитих ВНМ (заједно са параметром регресије и средњом квадратном грешком за „тест“ скуп) дат је табеларно. Приказана је и путања робота у X-Y равни, заједно са параметром активације током кретања мобилног робота. У случајевима када је активан управљачки подсистем на бази хомографије параметар активације има вредност нула (у случају прорачуна угаоне брзине овај параметар има вредност један). Такође, промена линеарне и угаоне брзине (излаз из ВНМ) мобилног робота у току експеримента је детаљно представљена. На крају овог поглавља, кроз приказ детектованих и упарених карактеристичних објеката у току кретања робота показана је робустност развијеног емпиријског управљачког система са аспекта управљања у реалном времену.

У оквиру закључка наглашена је предност развијеног емпиријског управљачког система у односу на позната постојећа решења. У почетном тренутку неопходан је само један карактеристични објекат ради кориговања оријентације робота, са крајњим циљем обезбеђивања што већег броја карактеристичних објеката у наредном тренутку. Такође, за примену развијеног емпиријског управљачког система није потребно додатно постављање вештачких објеката/маркера у технолошком окружењу. Истовремено, увођењем „корекционе“ фазе управљања обезбеђена је робустност система са становишта поремећаја који се не могу предвидети. У складу са датом анализом предлога техничког решења, као именовани рецензенти дајемо следеће

## МИШЉЕЊЕ

Аутори нове методе (M85) под називом „Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота на бази машинског учења демонстрацијом и хомографије добијене од некалибрисане камере“ су на јасан начин описали концепцијско решење управљања мобилног робота на бази емпиријске управљачке теорије и информација добијених од камере приликом решавања задатка навигације у лабораторијском моделу технолошког окружења. Резултати остварени применом ове нове методе указују на то да постоји очит допринос постојећем стању развоја, а потврђују и то да је омогућен једноставан и ефикасан начин реализације интелигентног управљачког система базираног на емпиријски прикупљеним сензорским информацијама. На основу увида у предлог нове методе и остварене резултате предлагемо Истраживачко-стручном већу Машинског факултета у Београду да се нова метода под називом „Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота на бази машинског учења демонстрацијом и хомографије добијене од некалибрисане камере“ прихвати као ново техничко решење.



Проф. др Жарко Ђојбашић  
Машински факултет у Нишу



Доц. др Радиша Јовановић  
Универзитет у Београду-Машински факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 2401/3  
ДАТУМ: 27.12.2012.

На основу захтева руководиоца пројекта проф.др Бојана Бабића бр. 2401/1 од 13.12.2012. године, одлуке о именовану рецензента и чл. 12.5 Статута Машинског факултета, Истраживачко стручно веће на седници од 27.12.2012. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

Прихвата се Техничко решење рађено у оквиру пројекта ТР 35004, под насловом: **„Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота на бази машинског учења демонстрацијом и хомографије добијене од некалибрисане камере“**, чији су аутори: Марко Митић, дипл.инж.маш., проф.др Зоран Миљковић, Најдан Вуковић, дипл.инж.маш. и проф.др Бојан Бабић, а позитивну рецензију поднели: проф.др Жарко Ђојбашић, Машински факултет у Нишу и доц.др Радиша Јовановић.

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.

ПРОДЕКАН  
ЗА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКУ ДЕЛАТНОСТ



*[Handwritten signature]*  
Проф.др Војкан Лучанин