

Техничко решење

Спецификација, развој и интеграција система за неинтрузивни мониторинг потрошње електричне енергије

Аутори:

Деа Пујић, Никола Томашевић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш

Година: 2019.

Корисник: Sonnenplatz Großschönau (Аустрија)

Начин коришћења:

Један приступа смањењу електричне енергије резиденцијалних корисника је и неинтрузивни мониторинг потрошње електричне енергије који подразумева обезбеђивање информација о потрошњи појединачних уређаја у домаћинству коришћењем само корисникове агрегиране потрошње. На тај начин корисник постаје свестан где потенцијално неадекватно троши енергију, те се може прилагодити и променити своје навике, те достићи уштеде од чак 12% енергије. Развој система који врши дисагрегацију сигнала укупне потрошње електричне енергије најчешће подразумева коришћење различитих метода машинског учења. У том контексту, подаци су једна од најзначајнијих компоненти система коришћена за обучавање модела за дисагрегацију сигнала. С тим у вези, резултат овог техничког решења су модели за процену активности и потрошње различитих уређаја развијани коришћењем реалних података, њихова интеграција и примена од стране на крајњег корисника.

Рецензенти:

dr Fabrice Theoleyre, ICUBE - UMR CNRS 7357, Francuska
dr Nathalie Mitton, INRIA Lille-Nord Europe, Francuska

ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

Назив	Спецификација, развој и интеграција система за неинтрузивни мониторинг потрошње електричне енергије
Аутори	Деа Пујић, Никола Томашевић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш (Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду)
Категорија	Ново техничко решење у фази реализације (M85) Доказ: Протокол о тестирању
Кључне речи	Аналитика потрошње електричне енергије, неуралне мреже, унапређење генерализације, енергетска ефикасност

За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде):

Техничко решење је рађено за потребе истраживачке заједнице и индустрије у области енергетске ефикасности.

Година када је решење комплетирано:

2019.

Година када је почело да се примењује и од кога:

Решење је почело да се примењује 2019. године, пуштањем система за прикупљање и дисагрегацију сигнала укупне потрошње домаћинства у рад у Соненплацу, у Аустрији.

Корисник: Sonnenplatz Großschönau (Аустрија)

Област и научна дисциплина на коју се техничко решење односи:

Техничко-технолошке науке; информационо-комуникационе технологије;
Дисагрегација потрошње електричне енергије

Рецензенти техничког решења:

dr Fabrice Theoleyre, ICUBE - UMR CNRS 7357, Француска и dr Nathalie Mitton, INRIA Lille-Nord Europe, Француска

Технички елаборат:

- Проблем који се техничким решењем решава
- Стање решености тог проблема у свету
- Опис техничког решења са карактеристикама, укључујући пратеће илустрације и техничке цртеже
- Референце
- Рецензије техничког решења

ТЕХНИЧКИ ЕЛАБОРАТ

Проблем који се техничким решењем решава:

Introduction and problem definition

To encourage the end users to change their habits and reduce their power consumption, which would influence the environmental protection, giving feedback to the users on the details of their electrical energy usage was found promising in numerous analyses. It has been claimed that saving of up to 12% of energy consumption can be achieved if the end users would be aware of how they are spending energy.

However, traditional intrusive load monitoring approach (ILM), which requires deployment of the numerous sensors is non-appealing to the end users, even though it provides the necessary information. Therefore, the problem of non-intrusive load monitoring (NILM) has been formulated. The main idea of the NILM concept is providing the information on the individual household appliances' consumptions non-intrusively, without disturbing the end users by introducing a large number of sensors, but rather disaggregating the total household consumption on the individual ones, as presented in Figure 1.

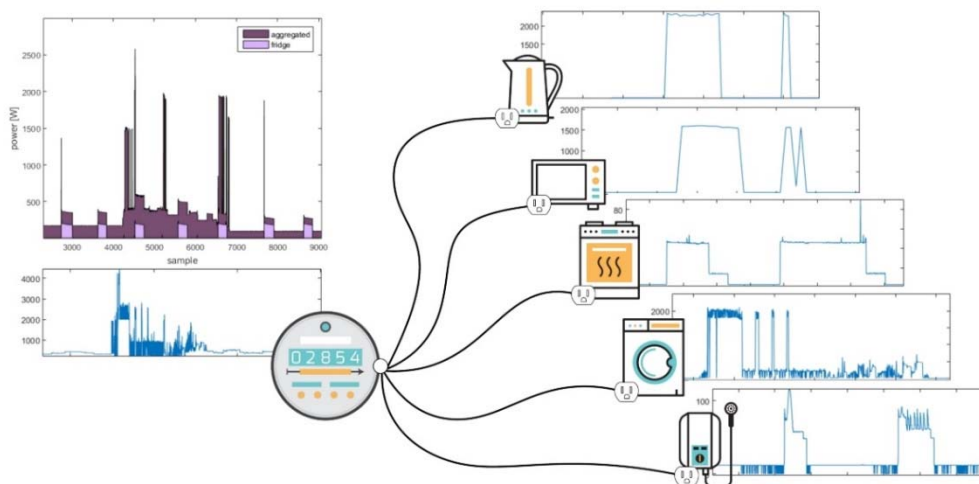


Figure 1 – Non-Intrusive Load Monitoring

Therefore, as a part of this technical solution, and build upon the previous results, models for the estimation of the activation and consumption of various household appliances were developed using real world data. Furthermore, their performances are presented in this report, as well as the corresponding analysis and the suggestion for the necessary future work in the field of NILM.

Стање решености тог проблема у свету:

State of the art solutions

Definition of the NILM problem dates from the end of 20th century, when Hart [1] has presented his solution for energy consumption disaggregation which was based on the change in amplitude of

the consumption. This approach has been replaced with the Hidden Markov Models (HMMs) and numerous its modifications such as Factorial HMMs [2], Conditional FHMMs [3] etc. in order to overcome the problem of modelling continues appliances (ones whose consumption continuously varies through time).

Nonetheless, these methodologies had a problem of error propagation through time and were neglecting the specific electrical consumption patterns, which are found to be fundamental for archiving high performances. Therefore, these probabilistic approaches have been replaced with the data driven ones, such as k nearest neighbours (kNN), linear regression (LR), support vector machines (SVM) etc. [4].

Finally, currently the most popular are neural networks (NNs), especially recurrent NNs and convolutional NNs (CNN) [5] with the main advantage against the other methodologies having capability to detect specific individual appliance's signatures. Numerous examples of NN application in NILM are present in literature, such as in [6], where it has been proven that NNs outperform HNN based methods. Taking all of previous into account, it is understandable that models developed as a part of this technical solution are CNN based.

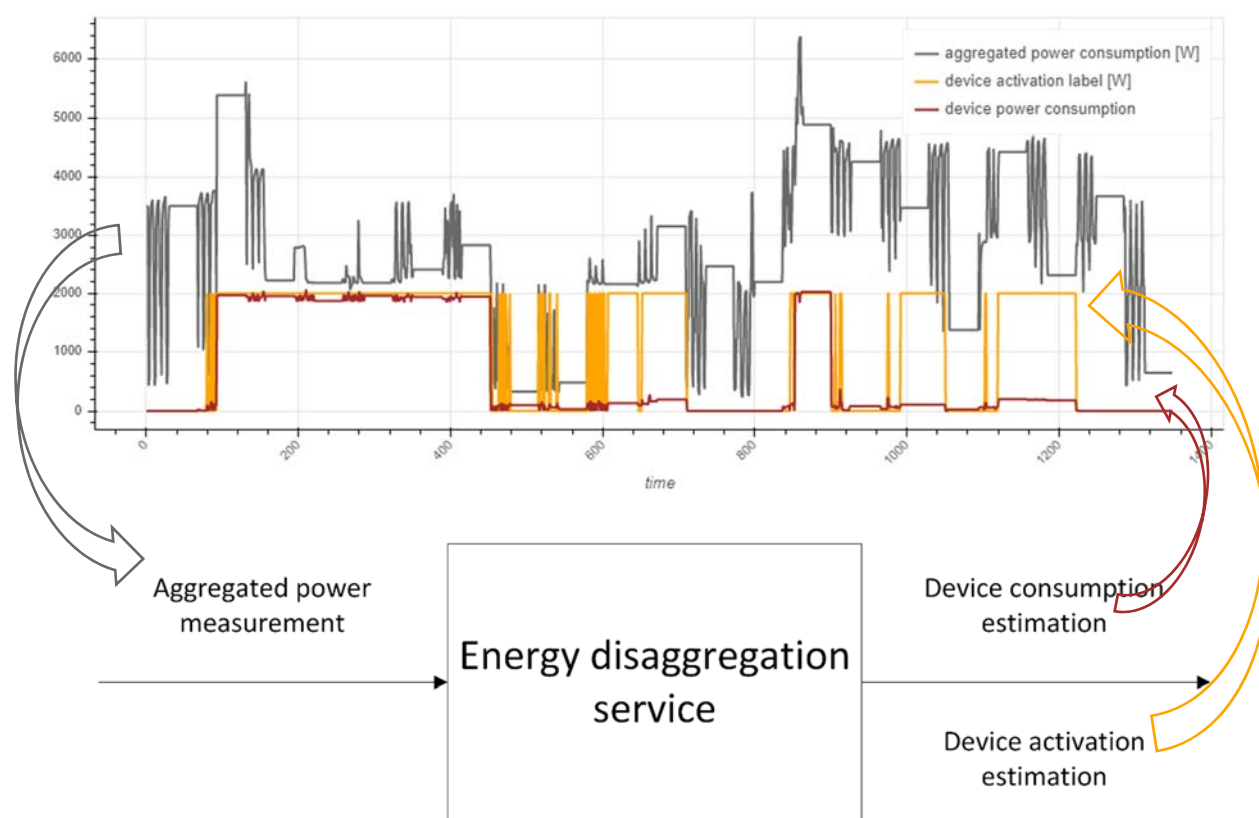


Figure 2 – Energy disaggregation service concept

Опис техничког решења са карактеристикама, укључујући пратеће илустрације и техничке цртеже:

Proposed methodology

As stated in section State of the art solutions, for the purpose of consumption disaggregation, Convolutional Neural Networks (CNN) are found the most appropriate, so were used for developing

this technical solution. The main idea was to implement the service that would imitate smart meter measurements of both activity and consumption, designed as shown in Figure 2. It can be seen that the intention was to provide a service that would be capable of estimating the appliance power consumption and activity status (on/off) in accordance with the input aggregated power consumption.

Table I: NILM service architecture

layer	no.ker.	ker.size	activation	ratio
Conv1D	30	10	ReLU	
Dropout				0.5
Conv1D	30	8	ReLU	
Conv1D	40	6	ReLU	
Conv1D	50	5	ReLU	
Conv1D	1024	331	ReLU	
Dropout				0.5
Dense	1		linear	

Within the previous work, and as a part of *Specification and the development of the component for the analytics of electrical energy consumption of the end user* technical solution, the specific parameters relevant for NILM problem were discussed on the example of refrigerator activation classification. Therefore, it has been concluded that NILM models are robust to changing the smart meters sampling period, as well as that introducing the delay in the prediction does not bring significant increase in performance, leading to the conclusion that it is not justified. Therefore, as this technical solution represents the advancement of the previous one, previously obtained results were considered at the very beginning of this work. Namely, as it was claimed that the choice of the sampling period does not effect the performance dramatically, sampling period $T_s = 5$ s of the available data was taken as suitable. Furthermore, as improvement in estimation performance due to introducing the delay in the system improves the model’s performance just insignificantly, we have developed the NILM service to work as the real-time engine. Finally, the last relevant parameter, the horizon of the estimation, is taken to be 30 min in consistence with [7] resulting with the input aggregated sequence having 360 samples.

Following the previously presented discussion on parameters choice, the final model will be presented. As a core of the estimation engine, Convolutional Neural Networks with the architecture defined in Table I and based on the seq2point architecture was used [7].

As the important factor within this research, used data are going to be presented. Their main role was in the training process, for which it was necessary to provide aggregated power consumption sequences, as well as the individual consumptions of the household appliances. What was crucial for this solution was that real world data was used for training, validating and testing purposes resulting in obtaining representative and eminent results. The data was collected from neighboring residential apartments in north France. As it was necessary to have both aggregated and individual consumptions, there was only a limited list of potential devices for which models could be trained. Therefore, the appliances that were covered were clothes dryer, electric boiler, fan heater, radiator and washing machine. For all of them, the models for activation and consumption estimations were developed, and results with the corresponding discussion and performances will be presented.

In the first step of the model development, data was collected. There were numerous examples of corrupted data, especially in the individual appliance’s consumptions, usually due to the problems with the communication. Some of these situations have been detected as no change could be noticed in the signal or as consumption of the individual appliance was bigger than the total one. Therefore, the data was cleaned and the outliers were rejected.

Furthermore, in order to ensure that training set is balanced, so that system will not favor either active or inactive state of the appliance, the data was filtered and so some examples were abandoned.

Table III: Common training parameters

Criterion	ADAM
Optimization algorithm	MSE
β_1	0.9
β_2	0.999

Table II: Classification performances per appliance

	epochs class.	testing accuracy	epochs regress.	final MAE [W]
Clothes dryer	44	84%	15	86
Fan heater	76	91%	16	320
Washing machine	12	83%	26	153
DHW	10	88%	18	143
Radiator	24	86%	17	153

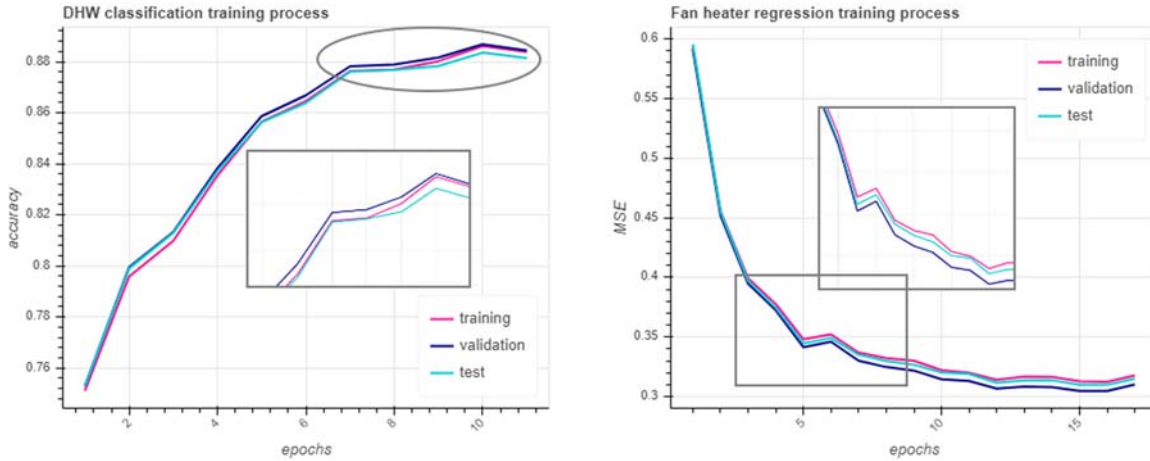


Figure 3 – Classification and regression performance through the training process

Finally, the data was shuffled, divided into training, validation and testing set, and normalized for the training purposes.

As the last step in a development phase illustrated in Figure 4, training was performed in Python using Keras and TensorFlow libraries, enabling the parallelization of the training process on the GPU (NVIDIA GTX GeForce 1080 Ti), which significantly accelerated it. The training has been performed for all the five above mentioned household appliances for both activity and consumption estimation models. Training parameters for those neural network trainings are shown in Table III, whilst examples of the performance evaluation through the training process for training, validation and testing data are shown in Figure 3. The final nets' performances are shown in Table II.

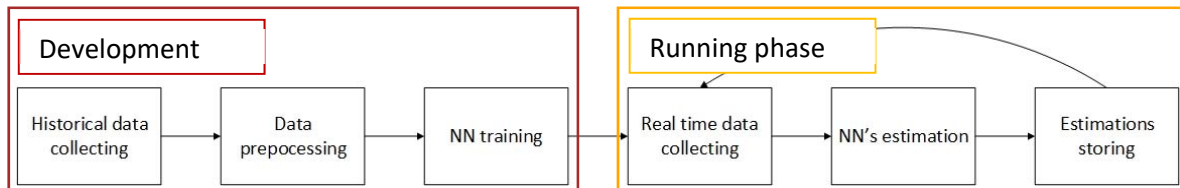


Figure 4 – Disaggregation service flow for each appliance

Performance for classification is given as the accuracy, and it can be noticed that for all of the appliances it is very high, from 84% to 91%. On the other hand, regression performance is given as the final mean absolute error (MAE) in watts. Namely, the final estimated power consumption of the considered appliance is given as a combination the estimated activation and consumption such as

$$y_{\text{final}} = y_{\text{activity}} \cdot y_{\text{net predicted output}}$$

where y_{activity} is estimated activity label which equals 1 if the appliance is active and 0 otherwise, while $y_{\text{net predicted output}}$ is the appliance's power consumption predicted by the net. Therefore, having in mind that classification is performed with high performance, the error in consumption estimation is drastically reduced.

Observing the obtained results, it can be found that the biggest error corresponds to the fan heater's model. This slight underperforming in comparison to the other models is justified by the lack of data, as the fan heater is present in only one household (e. g. electrical boilers are present in 25, and radiators in 24).

Apart from the fan heater, MAEs are around 100W, which can be taken as acceptable considering the fact that the mean steady state consumption of the appliances is around 2000W. With the aim of presenting the obtained results and trained models performances properly, here will be given examples of specific behaviors. Regarding the electrical boilers, performance highly depends on the input aggregated sequence, as shown in Figure 5 and Figure 6. Namely, when the changes in the amplitudes are huge (e. g. 4000W), the system follows the trend, but with the huge deviations.

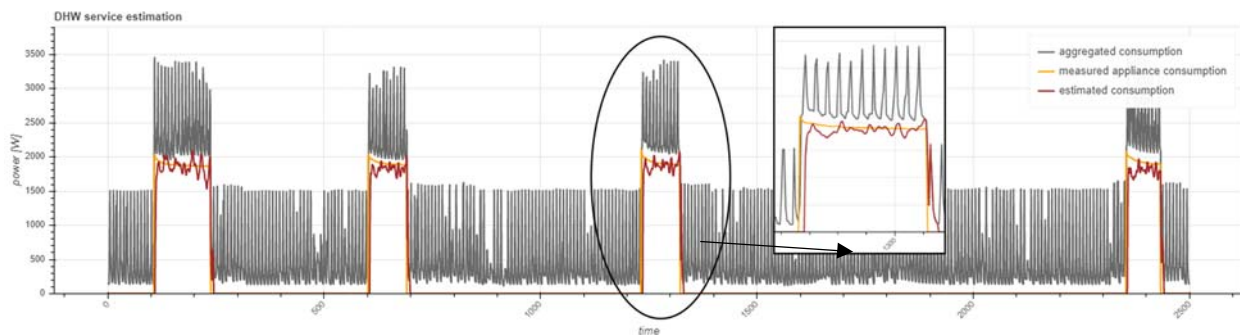


Figure 5 – Example of excellent consumption estimation for electrical boiler

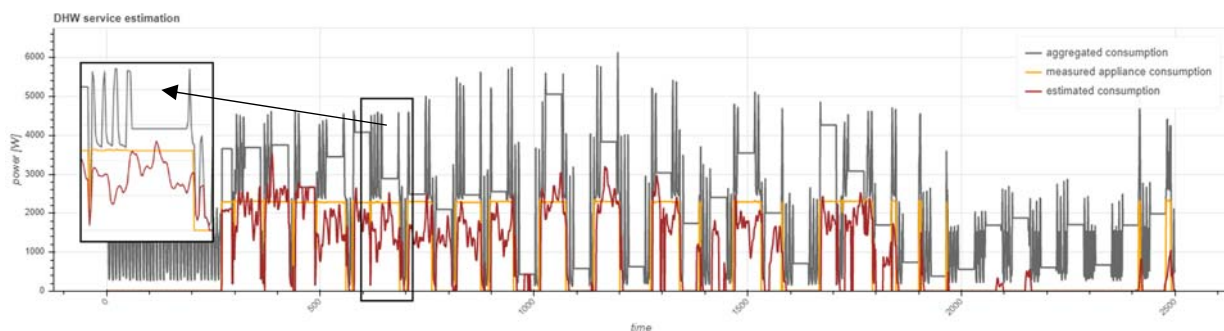


Figure 6 – Example of corrupted consumption estimation for electrical boiler

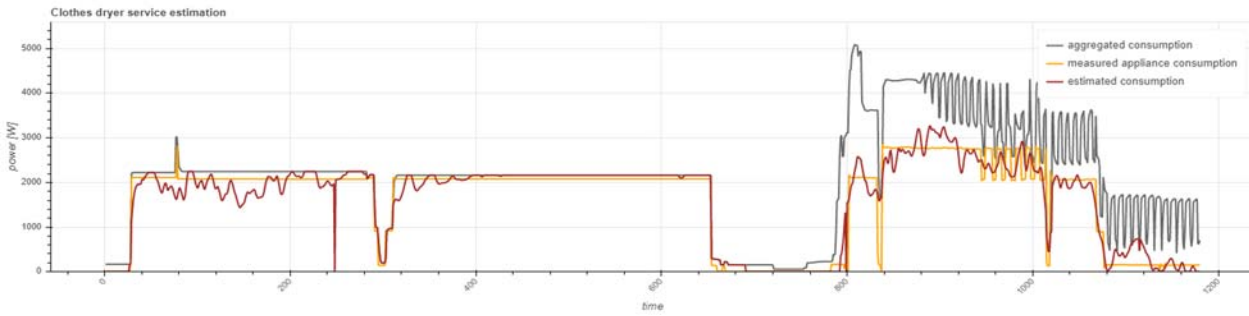


Figure 7 – Consumption estimation for clothes dryer

Similar problem with following fast changes can be noticed in Figure 7 and Figure 8. However, regarding clothes dryer these changes have quite small amplitude so they do not affect the final error drastically, which is why it is only 86 W. On contrary, in case of radiator changes are bigger, which is why MSE is slightly bigger and equals 153 W.

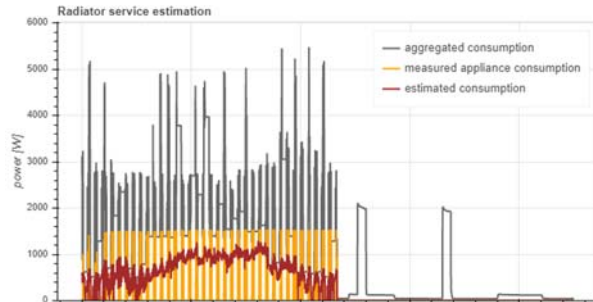


Figure 8 – Consumption estimation for radiator

Conclusion

Taking all previous into consideration, the discussed performances and presented estimated time series, it can be concluded that the selected models perform very well in real world practice, for both regression and classification and so that they are an appropriate methodology for the disaggregation service.

Nonetheless, what is necessary to be pointed out is that performances obtained as a part of this technical solution, even though collected using real world data, omit one important potential problem. Namely, in NILM literature, it has been claimed that generalization performance is crucial in order to provide solution applicable in the practice [8]. In those papers, it was required to separate one house for the model's performance evaluation, whilst data from the rest can be taken for the training purposes. In this way, model developers are supposed to obtain more realistic performances, as labeled data is not available from the houses in which NILM services are tended to be installed. Otherwise, there would be no need for NILM.

However, in the publicly available data sets houses with in one set are usually quite similar, as the data is collected from the geographically close places. Therefore, performances of the models trained using the publicly available data on the households of interests would be significantly lower.

Having all of previous in mind, it is obvious that future work in the field of NILM is supposed to be oriented to the improving the generalization performances. As the first step, approaches developed for CNN generalization improvement could be suggested and analyzed.

Референце:

References

- [1] G. Hart, “Nonintrusive appliance load monitoring,” *Proc. IEEE*, vol. 80, no. 12, pp. 1870–1891., 1992.
- [2] R. Bonfigli, E. Principi, M. Fagiani, M. Severini, S. Squartini, and F. Piazza, “Non-intrusive load monitoring by using active and reactive power in additive Factorial Hidden Markov Models,” *Appl. Energy*, vol. 208, pp. 1590–1607, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.203.
- [3] H. Kim, M. Marwah, M. Arlitt, G. Lyon, and J. Han, “Unsupervised Disaggregation of Low Frequency Power Measurements,” in *Proceedings of the 2011 SIAM International Conference on Data Mining*, 0 vols., Society for Industrial and Applied Mathematics, 2011, pp. 747–758.
- [4] S. M. Tabatabaei, S. Dick, and W. Xu, “Toward Non-Intrusive Load Monitoring via Multi-Label Classification,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 1, pp. 26–40, Jan. 2017, doi: 10.1109/TSG.2016.2584581.
- [5] P. Paulo, “Application of Deep Learning Techniques on NILM,” 2016.
- [6] J. Kelly and W. Knottenbelt, “Neural NILM: Deep Neural Networks Applied to Energy Disaggregation,” *Proc. 2nd ACM Int. Conf. Embed. Syst. Energy-Effic. Built Environ. - BuildSys 15*, pp. 55–64, 2015, doi: 10.1145/2821650.2821672.
- [7] C. Zhang, M. Zhong, Z. Wang, N. Goddard, and C. Sutton, “Sequence-to-point learning with neural networks for nonintrusive load monitoring,” *ArXiv161209106 Cs Stat*, Dec. 2016.
- [8] Z. Lan, B. Yin, T. Wang, and G. Zuo, “A non-intrusive load identification method based on convolution neural network,” in *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, 2017, pp. 1–5, doi: 10.1109/EI2.2017.8245612.

Рецензија техничког решења:

Review of the technical solution Specification, development and integration of the non-intrusive load monitoring system

Within this SOFIA technical solution, the Institute "Mihajlo Pupin" has proposed a service-oriented method for improving the energy efficiency and enabling users to get a feedback on their energy usages in the non-intrusive way. More precisely, the Institute has developed the model for load disaggregation on the individual household appliances.

As part of this technical solution, the Institute has developed models for various household appliances, proving that the chosen methodologies is adequate for solving the non-intrusive load monitoring problem.

Additionally, as a part of future work, Institute "Mihajlo Pupin" suggested next research steps.

In this way, the Institute "Mihajlo Pupin" provided the proof that this methodology is applicable in practice, and has potential for its future further development.

dr Fabrice Theoleyre



ICUBE - UMR CNRS 7357
300, boulevard Sébastien Brant
67412 Illkirch-Graffenstaden
Cedex, France

Рецензија техничког решења:

Review of the technical solution Specification, development and integration of the non-intrusive load monitoring system

Belonging to the SOFIA technical solutions, Institute Pupin has conducted deep analysis on SoA methodologies performance for NILM using real world data from France.

As a part of this technical solution, Institute analyzed both classification and regression capabilities of the proposed model. The study included comparison between numerical performance indicators, as well as time serious one, with the goal of covering various different characteristics and proving that the proposed models are adequate for the application in practice.

Additionally, relevant problem of low generalization performance has been pointed out followed by the guidance for the future research topics.

dr Nathalie Mitton

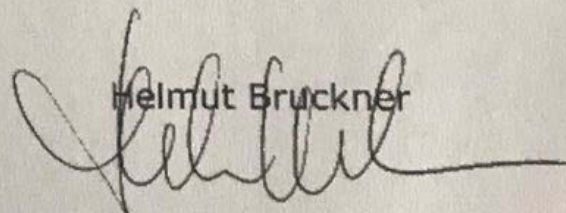


INRIA Lille-Nord Europe
Parc scientifique de la haute borne
40, avenue Halley
59650 Villeneuve D'ascq, France

Протокол о тестирању од стране корисника:

**Protocol on testing of the technical solution
Specification, development and
integration of the non-intrusive load
monitoring system**

With this document we confirm that the SOFIA technical solution entitled "Specification, development and integration of the non-intrusive load monitoring system", developed by the Institute Mihajlo Pupin, has been successfully deployed, tested and being utilized as part of the residential houses at Sonnenplatz Großschönau (Austria) for the load disaggregation.


Helmut Bruckner

Project Manager
Sonnenplatz Großschönau
A-3922 Großschönau
Sonnenplatz 1,
Austria

ИНСТИТУТ МИХАЈЛО ПУПИН ДОО БЕОГРАД

Број:110/7-20

13. јануар 2020. године

Београд

На основу чл. 24. Статута Института „Михајло Пупин“ ДОО Београд – Пречишћен текст („Билтен“ бр.4/2016.), а у вези чл. 27. Закона о науци и истраживањима („Сл. гласник РС“ бр.49/2019) и Прилога 2 Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативног исказивања научноистраживачких резултата истраживача („Сл. гласник РС“ бр. 24/2016, 21/2017 и 38/2017), Научно веће ИНСТИТУТА МИХАЈЛО ПУПИН ДОО БЕОГРАД доноси следећу:

ОДЛУКУ

ПРИХВАТА СЕ техничко решење под називом:

Спецификација, развој и интеграција система за неинтрузивни мониторинг потрошње електричне енергије

Реализатор: Институт Михајло Пупин, Волгина 15, 11060 Београд

Аутори: Деа Пујић, Никола Томашевић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш

Број аутора: 4 Година када је комплетирано: 2019 Пријављена категорија: М85

Техничко решење је рађено за: потребе истраживачке заједнице и индустрије у области енергетске ефикасности

Техничко решење користи: Sonnenplatz Großschönau (Аустрија) од: 2019

Техничко решење је резултат рада на пројекту (ев.број): ТР32010

Кратак опис решења:

Како би се смањила потрошња електричне енергије резиденцијалних корисника, те самим тим и загађење настало услед спаљивања фосилних горива, велики број различитих приступа развијан је у последње време. Један од њих је и неинтрузивни мониторинг потрошње електричне енергије који подразумева обезбеђивање информација о потрошњи појединачних уређаја у домаћинству коришћењем само корисникове агрегиране потрошње, као што је илустровано сликом 1. На тај начин корисник постаје свестан где потенцијално неадекватно троши енергију, те се може прилагодити и променити своје навике, те достићи уштеде од чак 12% енергије. Развој система који врши дисагрегацију сигнала укупне потрошње електричне енергије најчешће подразумева коришћење различитих метода машинског учења. У том контексту, подаци су једна од најзначајнијих компоненти система коришћена за обучавање модела за дисагрегацију сигнала.

С тим у вези, резултат овог техничког решења су модели за процену активности и потрошње различитих уређаја равијани коришћењем реалних података, њихова интеграција и примена од стране на крајњег корисника. Додатно, с обзиром на то да неинтрузивни мониторинг потрошње електричне енергије наилази на проблем генерализације, као последица корићења методологија заснованих на подацима, ово техничко решење осврће се и на потенцијално решење проблема ниских перформанси генерализације тренутно коришћених методологија.

Рецензенти:

1. dr Fabrice Theoleyre, ICUBE - UMR CNRS 7357, France
2. dr Nathalie Mitton, INRIA Lille-Nord Europe, France

На основу позитивног мишљења два рецензента – експерта из области техничког решења, Научно веће је донело предметну одлуку и исту упућује надлежном Матичном научном одбору на Мишљење.

ИНСТИТУТ МИХАЈЛО ПУПИН ДОО БЕОГРАД
НАУЧНО ВЕЋЕ

Председник

Prof. dr Buro Kutlaca
Проф. др Буро Кутлача, дипл. инж.,

Научни саветник

Достављено:

- ауторима
- Секретаријату Института

Деа Пујић, листа техничких решења

Нема техничких решења

Никола Томашевић, листа техничких решења

M81

1. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Симулационо и тренинг окужење за обуку особља аеродрома", 2013, TP32010

M85

1. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Развој интегрисаног софтверског система за више-критеријумско управљање хибридним микро-мрежама", 2018, TP32010
2. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Кљајић, Сања Вранеш: "Спецификација и развој софтверске компоненте за аналитику потрошње електричне енергије крајњег потрошача", 2018, TP32010
3. Никола Томашевић, Валентина Јанев, Сања Вранеш: "Развој система за управљање критичним инфраструктурама у ванредним ситуацијама заснован на парадигми обраде комплексних догађаја", 2018, TP32010
4. Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Примена технике колаборативног филтрирања ради препоруке материјала за учење у оквиру OpenCourseWare платформи", 2018, TP32010
5. Никола Томашевић, Марко Батић, Лазар Бербаков: "Имплементација интегративне платформе засноване на сервисно-оријентисаној архитектури за побољшање интероперабилности система у оквиру концепта интелигентних кућа", 2018, TP32010
6. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Сервисно-оријентисана архитектура за интеграцију и интероперабилност система у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, TP32010
7. Марко Батић, Никола Томашевић, Милан Ђуровић, Сања Вранеш: "Развој иновативних апликативних сценарија за повећање енергетске ефикасности кроз ангажовање крајњих потрошача", 2017, TP32010
8. Марко Батић, Никола Томашевић, Сања Вранеш: "Евалуација ефеката управљања потрошњом на дугорочну исплативости хибридних микро-мрежа са обновљивим изворима енергије уз помоћ SOFIA платформе", 2017, TP32010
9. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Спецификација канонског модела података за комуникацију системских компоненти у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, TP32010
10. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Огњен Стаменковић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Квалитативно унапређење система за контролу и управљање енергетским ресурсима комплексних инфраструктура са различитим изворима енергије", 2016, TP32010
11. Валентина Јанев, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "LinkedData.rs Садржаји за електронско учење", 2016, TP32010
12. Никола Томашевић, Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Унапређење репликабилности и скалабилности SOFIA система за управљање ванредним ситуацијама", 2016, TP32010
13. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Огњен Стаменковић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Систем за контролу и управљање на бази софтверског модула за оптимизацију комплексних инфраструктура са различитим изворима енергије", 2015, TP32010
14. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Огњен Стаменковић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Спецификација и архитектура система за прикупљање,

- размену и ажурирање података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, TP32010
15. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Интерфејс система за надзор и контролу инфраструктуре аеродрома према софтверском модулу за оптимизацију производње и потрошње енергије", 2015, TP32010
 16. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Валентина Јанев, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Емулатор мерног окружења за тестирање система за оптимизацију токова енергије међусобно повезаних ентитета са различитим изворима енергије", 2015, TP32010
 17. Марко Батић, Никола Томашевић, Урош Милошевић, Тамара Јовановић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Обједињени систем за синхронизацију времена и података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, TP32010
 18. Младен Станојевић, Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Програмски интерфејс за екстракцију знања из онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности", 2014, TP32010
 19. Младен Станојевић, Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за оптимизацију производње и потрошње енергије аеродрома у реалном времену", 2014, TP32010
 20. Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Вук Мијовић, Никола Томашевић, Сања Вранеш: "Анализа и спецификација комуникационих мрежа потребних након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2014, TP32010
 21. Младен Станојевић, Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за препоруку профила потрошње енергије у комплексном систему са различитим изворима енергије", 2014, TP32010
 22. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Генеричка онтологија аеродрома моделована за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, TP32010
 23. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Симулационо и тренинг окружење за обуку особља аеродрома", 2013, TP32010
 24. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Проширење и популација инстанци генеричке онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, TP32010
 25. Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Спецификација енергетских карактеристика аеродрома као отвореног простора", 2012, TP32010
 26. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Оперативни сценарији за аеродром", 2012, TP32010
 27. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Систем за подршку одлучивању у кризним ситуацијама на аеродрому", 2012, TP32010
 28. Никола Томашевић, Марко Батић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Техничка карактеризација и системска архитектура аеродрома", 2012, TP32010
 29. Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Марко Рибарић, Марко Батић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Развој генеричке онтологије просторних и функционалних компоненти комплексних објеката (CO₂ – Complex Object Ontology)", 2011, TP32010
 30. Марко Батић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Проширење генеричке CO₂ онтологије за управљање објектима са микромрежама локалних обновљивих извора енергије", 2011, TP32010
 31. Никола Томашевић, Вук Мијовић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Проширење генеричке CO₂ онтологије за управљање аеродромима", 2011, TP32010

32. Сања Вранеш, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Валентина Јанев, Младен Станојевић: "Развој метамодела података и "mark-up" језика за потребе комуникације са SCADA системима", 2011, TP32010
33. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Анализа захтева и израда UML модела софистицираног графичког корисничког интерфејса", 2011, TP32010
34. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Дефинисање могућих сценарија примене SOFIA окружења на аеродрому „Никола Тесла", 2011, TP32010
35. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Марко Батић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Развој новог, мултипарадигматичног CEP/ECA језика за управљање комплексним објектима", 2011, TP32010
36. Сања Вранеш, Младен Станојевић, Валентина Јанев, Вук Мијовић, Никола Томашевић, Lydia Kraus: "Спецификација захтева и израда UML модела архитектуре SOFIA окружења", 2011, TP32010
37. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Lydia Kraus, Младен Станојевић, Валентина Јанев, Сања Вранеш: "Развој прве верзије прототипа архитектуре SOFIA окружења", 2011, TP32010
38. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Развој прве верзије демонстрационог прототипа примене SOFIA окружења на аеродрому "НиколаТесла", 2011, TP32010

Лазар Бербаков, листа техничких решења

M85

1. Nikola Tomašević, Marko Batić, Lazar Berbakov: "Implementacija integrativne platforme zasnovane na servisno-orijentisanoj arhitekturi za poboljšanje interoperabilnosti sistema u okviru koncepta inteligentnih kuća", 2018, TP32010
2. Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Унапређена софтверска компонента за позиционирање у затвореном простору у ванредним ситуацијама", 2016, TP32010
3. Никола Томашевић, Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Унапређење репликабилности и скалабилности SOFIA система за управљање ванредним ситуацијама", 2016, TP32010
4. Алгоритамска компензација разлике компоненти JFET-а за контролу појачања у напонски контролисаном појачавачу, 2016
5. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Огњен Стаменковић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Спецификација и архитектура система за прикупљање, размену и ажурирање података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, TP32010
6. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Урош Милошевић, Огњен Стаменковић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Софтверска компонента за праћење и анализу ланца снабдевања на мобилним уређајима", 2015, TP32010
7. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Софтверски модул за прецизну навигацију у затвореном простору", 2015, TP32010
8. Марко Батић, Никола Томашевић, Урош Милошевић, Тамара Јовановић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Обједињени систем за синхронизацију времена и података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, TP32010
9. Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Вук Мијовић, Никола Томашевић, Сања Вранеш: "Анализа и спецификација комуникационих мрежа потребних након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2014, TP32010
10. Валентина Јанев, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Марко Батић, Младен Станојевић, Јелена Јовановић-Васовић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Спецификација техничког решења система за управљање ванредним ситуацијама", 2014, TP32010

Сања Вранеш, листа техничких решења

M81

1. Марко Батић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Систем за симулацију и планирање дистрибуиране микро-мреже базиране на обновљивим изворима енергије", 2013, TP32010
2. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Симулационо и тренинг окужење за обуку особља аеродрома", 2013, TP32010

M85

1. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Развој интегрисаног софтверског система за више-критеријумско управљање хибридним микро-мрежама", 2018, TP32010
2. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Кљајић, Сања Вранеш: "Спецификација и развој софтверске компоненте за аналитику потрошње електричне енергије крајњег потрошача", 2018, TP32010
3. Никола Томашевић, Валентина Јанев, Сања Вранеш: "Развој система за управљање критичним инфраструктурама у ванредним ситуацијама заснован на парадигми обраде комплексних догађаја", 2018, TP32010
4. Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Примена технике колаборативног филтрирања ради препоруке материјала за учење у оквиру OpenCourseWare платформи", 2018, TP32010
5. Валентина Јанев, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Развој генеричког модела за оцену квалитета великих количина повезаних података (Big Linked Data)", 2018, TP32010
6. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Сервисно-оријентисана архитектура за интеграцију и интероперабилност система у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, TP32010
7. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Стефан Стојков, Марко Нанковски, Јелена Кљајић, Сања Вранеш: "Примена Linked Open Data у оквиру електронске управе (e-government) и у домену управљања ванредним ситуацијама (emergency management)", 2017, TP32010
8. Марко Батић, Никола Томашевић, Милан Ђуровић, Сања Вранеш: "Развој иновативних апликативних сценарија за повећање енергетске ефикасности кроз ангажовање крајњих потрошача", 2017, TP32010
9. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Методологија развоја Linked Data апликација помоћу SOFIA алата", 2017, TP32010
10. Марко Батић, Никола Томашевић, Сања Вранеш: "Евалуација ефеката управљања потрошњом на дугорочну исплативости хибридних микро-мрежа са обновљивим изворима енергије уз помоћ SOFIA платформе", 2017, TP32010
11. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Спецификација канонског модела података за комуникацију системских компоненти у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, TP32010
12. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Огњен Стаменковић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Квалитативно унапређење система за контролу и управљање енергетским ресурсима комплексних инфраструктура са различитим изворима енергије", 2016, TP32010
13. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Вук Мијовић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Унапређење применљивости и функционалности компоненте за просторно-временску анализу Linked Data", 2016, TP32010
14. Валентина Јанев, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "LinkedData.rs Садржаји за електронско учење", 2016, TP32010

15. Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Унапређена софтверска компонента за позиционирање у затвореном простору у ванредним ситуацијама", 2016, ТР32010
16. Никола Томашевић, Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Унапређење репликабилности и скалабилности SOFIA система за управљање ванредним ситуацијама", 2016, ТР32010
17. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Огњен Стаменковић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Систем за контролу и управљање на бази софтверског модула за оптимизацију комплексних инфраструктура са различитим изворима енергије", 2015, ТР32010
18. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Огњен Стаменковић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Спецификација и архитектура система за прикупљање, размену и ажурирање података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, ТР32010
19. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Интерфејс система за надзор и контролу инфраструктуре аеродрома према софтверском модулу за оптимизацију производње и потрошње енергије", 2015, ТР32010
20. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Урош Милошевић, Огњен Стаменковић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Софтверска компонента за праћење и анализу ланца снабдевања на мобилним уређајима", 2015, ТР32010
21. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Валентина Јанев, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Емулатор мерног окружења за тестирање система за оптимизацију токова енергије међусобно повезаних ентитета са различитим изворима енергије", 2015, ТР32010
22. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Софтверски модул за прецизну навигацију у затвореном простору", 2015, ТР32010
23. Марко Батић, Никола Томашевић, Урош Милошевић, Тамара Јовановић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Обједињени систем за синхронизацију времена и података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, ТР32010
24. Младен Станојевић, Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Програмски интерфејс за екстракцију знања из онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности", 2014, ТР32010
25. Валентина Јанев, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Марко Батић, Младен Станојевић, Јелена Јовановић-Васовић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Спецификација техничког решења система за управљање ванредним ситуацијама", 2014, ТР32010
26. Младен Станојевић, Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Софтверска компонента за просторно-семантичку визуализацију и претраживање на мобилним уређајима", 2014, ТР32010
27. Вук Мијовић, Богдан Павковић, Валентина Јанев, Јелена Јовановић-Васовић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Разрада сценарија за тестирање решења за управљање ванредним ситуацијама", 2014, ТР32010
28. Младен Станојевић, Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за оптимизацију производње и потрошње енергије аеродрома у реалном времену", 2014, ТР32010
29. Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Вук Мијовић, Никола Томашевић, Сања Вранеш: "Анализа и спецификација комуникационих мрежа потребних након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2014, ТР32010
30. Вук Мијовић, Валентина Јанев, Урош Милошевић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Софтверска компонента за просторно-временску анализу Linked Data", 2014, ТР32010

31. Младен Станојевић, Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за препоруку профила потрошње енергије у комплексном систему са различитим изворима енергије", 2014, ТР32010
32. Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски симулатор микро-мреже за производњу енергије из обновљивих извора", 2013, ТР32010
33. Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за елемент микро-мреже за складиштење енергије", 2013, ТР32010
34. Марко Батић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Софтверски симулатор потрошње енергије у микро-мрежи", 2013, ТР32010
35. Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Симулатор за дневно подешавања контролера енергетске микро-мреже", 2013, ТР32010
36. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Генеричка онтологија аеродрома моделована за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, ТР32010
37. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Проширење и популација инстанци генеричке онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, ТР32010
38. Урош Милошевић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Rozeta – Вишејезички алат за обраду природних језика и Linked Data", 2013, ТР32010
39. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Урош Милошевић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Linked data статистичко окружење", 2013, ТР32010
40. Вук Мијовић, Валентина Јанев, Урош Милошевић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "RDF Data Cube валидациони алат", 2013, ТР32010
41. Валентина Јанев, Урош Милошевић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Српски SKAN", 2013, ТР32010
42. Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Спецификација енергетских карактеристика аеродрома као отвореног простора", 2012, ТР32010
43. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Оперативни сценарији за аеродром", 2012, ТР32010
44. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Систем за подршку одлучивању у кризним ситуацијама на аеродрому", 2012, ТР32010
45. Никола Томашевић, Марко Батић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Техничка карактеризација и системска архитектура аеродрома", 2012, ТР32010
46. Марко Батић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Модел за елементе микро-мреже за производњу енергије из обновљивих извора", 2012, ТР32010
47. Марко Батић, Дејан Пауновић, Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Сања Вранеш: "Интегрисани, системски модел микро-мреже, који укључује изворе, складишта и спрегу са спољашњом електромрежом", 2012, ТР32010
48. Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Модел потрошње енергије у комплексним објектима разних намена", 2012, ТР32010
49. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Марко Батић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Развој семантичког web портала за е-колаборацију и дисеминацију резултата", 2011, ТР32010
50. Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Марко Рибарић, Марко Батић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Развој генеричке онтологије просторних и функционалних компоненти комплексних објеката (CO2 – Complex Object Ontology)", 2011, ТР32010

51. Марко Батић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Проширење генеричке CO2 онтологије за управљање објектима са микромрежама локалних обновљивих извора енергије", 2011, TP32010
52. Никола Томашевић, Вук Мијовић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Проширење генеричке CO2 онтологије за управљање аеродромима", 2011, TP32010
53. Сања Вранеш, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Валентина Јанев, Младен Станојевић: "Развој метамодела података и "mark-up" језика за потребе комуникације са SCADA системима", 2011, TP32010
54. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Анализа захтева и израда UML модела софистицираног графичког корисничког интерфејса", 2011, TP32010
55. Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Развој 3D модела за потребе визуализације и корисничког интерфејса", 2011, TP32010
56. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Дефинисање могућих сценарија примене SOFIA окружења на аеродрому „Никола Тесла", 2011, TP32010
57. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Марко Батић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Развој новог, мултипарадигматичног CEP/ECA језика за управљање комплексним објектима", 2011, TP32010
58. Сања Вранеш, Младен Станојевић, Валентина Јанев, Вук Мијовић, Никола Томашевић, Lydia Kraus: "Спецификација захтева и израда UML модела архитектуре SOFIA окружења", 2011, TP32010
59. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Lydia Kraus, Младен Станојевић, Валентина Јанев, Сања Вранеш: "Развој прве верзије прототипа архитектуре SOFIA окружења", 2011, TP32010
60. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Развој прототипа система за управљање документима на аеродромима", 2011, TP32010
61. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Развој прве верзије демонстрационог прототипа примене SOFIA окружења на аеродрому "НиколаТесла", 2011, TP32010