

**Raport**  
Instytutu Automatyki i Informatyki Stosowanej  
Politechniki Warszawskiej

**Walidacja i ocena efektywności działania energooszczędnego  
algorytmu sterowania szybkością pracy serwera w laboratorium**

Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz, Michał Karpowicz, Piotr Arabas

E-mail: [ens@ia.pw.edu.pl](mailto:ens@ia.pw.edu.pl), [m.karpowicz@elka.pw.edu.pl](mailto:m.karpowicz@elka.pw.edu.pl), [parabas@elka.pw.edu.pl](mailto:parabas@elka.pw.edu.pl)

**Raport wykonany w ramach projektu badawczego NCN, numer 2015/17/B/ST6/01885**

Warszawa, kwiecień 2019

Copyright 2011 by Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Fragmenty tej publikacji mogą być kopiowane i cytowane pod warunkiem zachowania tekstu niniejszych zastrzeżeń w każdej kopii oraz powiadomienia Instytutu Automatyki i Informatyki Stosowanej.

## 1. Wprowadzenie

Raport jest poświęcony problematyce projektowania energooszczędnych centrów przetwarzania danych i systemów zbierających dane pomiarowe. Prace wykonane w okresie 01.12.2018-30.04.2019 koncentrowały się na implementacji, weryfikacji i walidacji algorytmu sterowania szybkością pracy serwera obliczeniowego. Dodatkowo wykonano badania, których celem była implementacja, weryfikacja i ocena efektywności opracowanego w ramach projektu algorytmu odpowiedniego rozłożenia obciążeń w centrum przetwarzania danych. Porównano również skuteczność energooszczędnych protokołów komunikacji w systemie zbierania danych pomiarowych. Wyniki prac podsumowano w artykule do czasopisma i referatach zgłoszonych na konferencje międzynarodowe.

## 2. Algorytm sterowania szybkością serwera – implementacja, weryfikacja i walidacja w laboratorium

### 2.1. Wprowadzenie

W ramach projektu opracowano algorytm sterowania szybkością pracy serwera obliczeniowego. Celem algorytmu jest odpowiednie dostosowanie częstotliwości zegara procesora do aktualnego obciążenia. Efektem takich działań jest ograniczenie zużycia energii. Algorytm został zaimplementowany w środowisku symulacyjnym i testowym. Wykonano szereg eksperymentów. Zweryfikowano poprawność algorytmu i oceniono jego skuteczność.

Wyniki badań podsumowano w publikacji na konferencję HPCS 2019:

Tytuł referatu: *Fixed-point self-tuning CPU performance controller for Linux kernel*

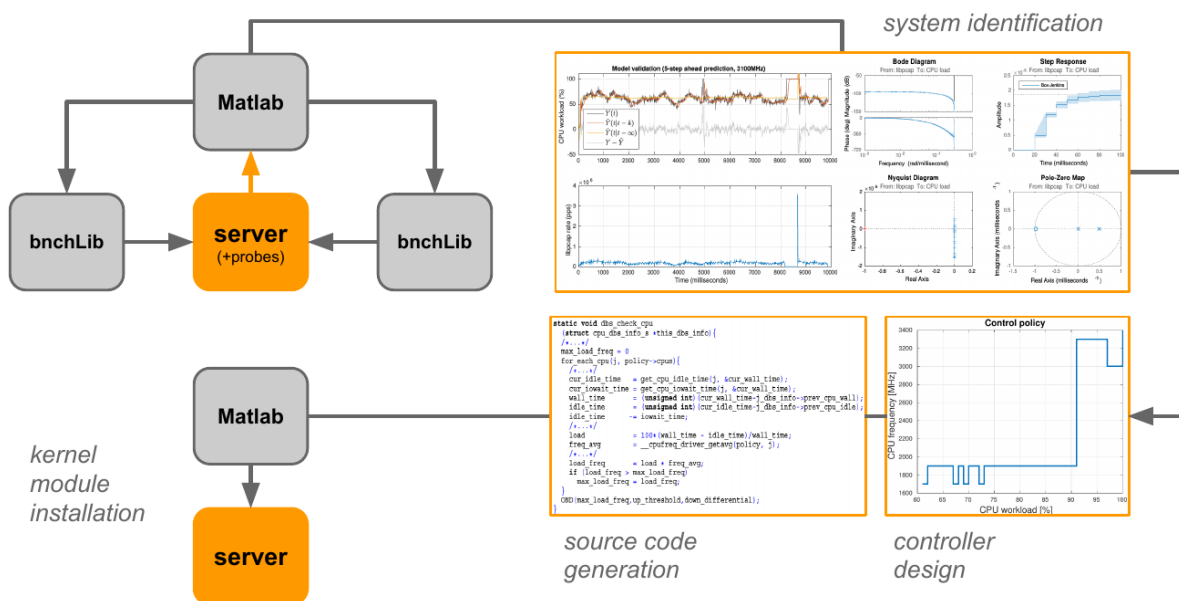
### 2.2. Implementacja

Wynikiem prac jest pakiet oprogramowania umożliwiający:

- identyfikację modelu dynamiki i wydajności usług udostępnianych w środowisku systemu operacyjnego Linux,
- automatyczne projektowanie oraz implementację modułu jądra systemu Linux optymalizującego pracę procesora (CPU).

Opracowane narzędzia pozwalają zoptymalizować działanie serwera poprzez dostosowanie charakterystyki pracy procesora do dynamiki udostępnianych przez system operacyjny usług.

*Stworzony pakiet oprogramowania wspiera usługę implementacji dedykowanego mechanizmu energooszczędnego sterowania pracą CPU dla systemu Linux.*



Rysunek 1. Schemat opracowanego procesu projektowania modułu jądra dla systemu Linux.

Dopasowanie polityki sterownia do specyfiki pracy warstwy aplikacji serwera pozwala:

- zredukować koszty zużycia energii **oraz**
- poprawić jakość usług

w porównaniu do najnowszych mechanizmów sterowania częstotliwością pracy procesora w systemie Linux. Opracowana metodyka projektowania oprogramowania **gwarantuje** optymalną konstrukcję algorytmu sterowania procesorem.

*Nie istnieje algorytm umożliwiający uzyskanie lepszych wskaźników jakości sterowania dla zidentyfikowanego modelu serwera.*

W skład pakietu oprogramowania wchodzi komponenty napisane w środowisku Matlab, skrypty konfiguracyjne i monitorujące systemu Linux (Bash, Perl), biblioteka szablonów modułu jądra, w tym:

- sonda monitorująca obciążenie CPU,
- sonda obserwująca pobór mocy CPU,
- biblioteka testów obciążeniowych (bnchLib),
- biblioteka skryptów automatyzujących proces przetwarzania danych,
- biblioteka skryptów automatyzujących proces syntezy i implementacji modułu jądra (sterownika CPU),
- skrypty instalacyjne i konfiguracyjne.

Algorytm został zrealizowany w eksperymentalnym klastrze obliczeniowym. W laboratorium wykonano również eksperymenty pozwalające na weryfikację i walidację rozwiązania.

### 2.3. Wyniki badań

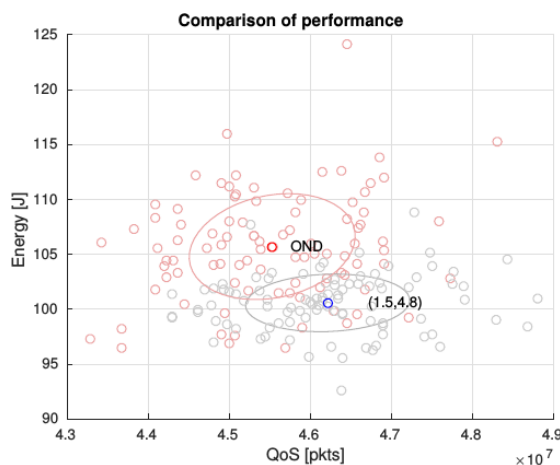
Mechanizmy sterowania zaprojektowane i zaimplementowane na bazie stworzonego oprogramowania zostały poddane badaniom eksperymentalnym. Celem badań było oszacowanie wskaźników poprawy efektywności sterowania procesorem względem sterowników modułu `cpufreq: ondemand`

(podstawowy energooszczędny sterownik CPU), *powersave*, *performance*. W badaniach wykorzystano dwa typy aplikacji (określające scenariusze użycia):

- filtr pakietów jądra systemu Linux (libpcap/tcpdump),
- komercyjną wersję serwera HTTP NGINX+.

### ***Filtracja pakietów***

Opracowany sterownik optymalizuje pracę serwera przeprowadzającego w czasie rzeczywistym inspekcję pakietów sieciowych obserwowanych na wskazanych interfejsach.



Rysunek 2. Porównanie wydajności procesu filtracji pakietów.

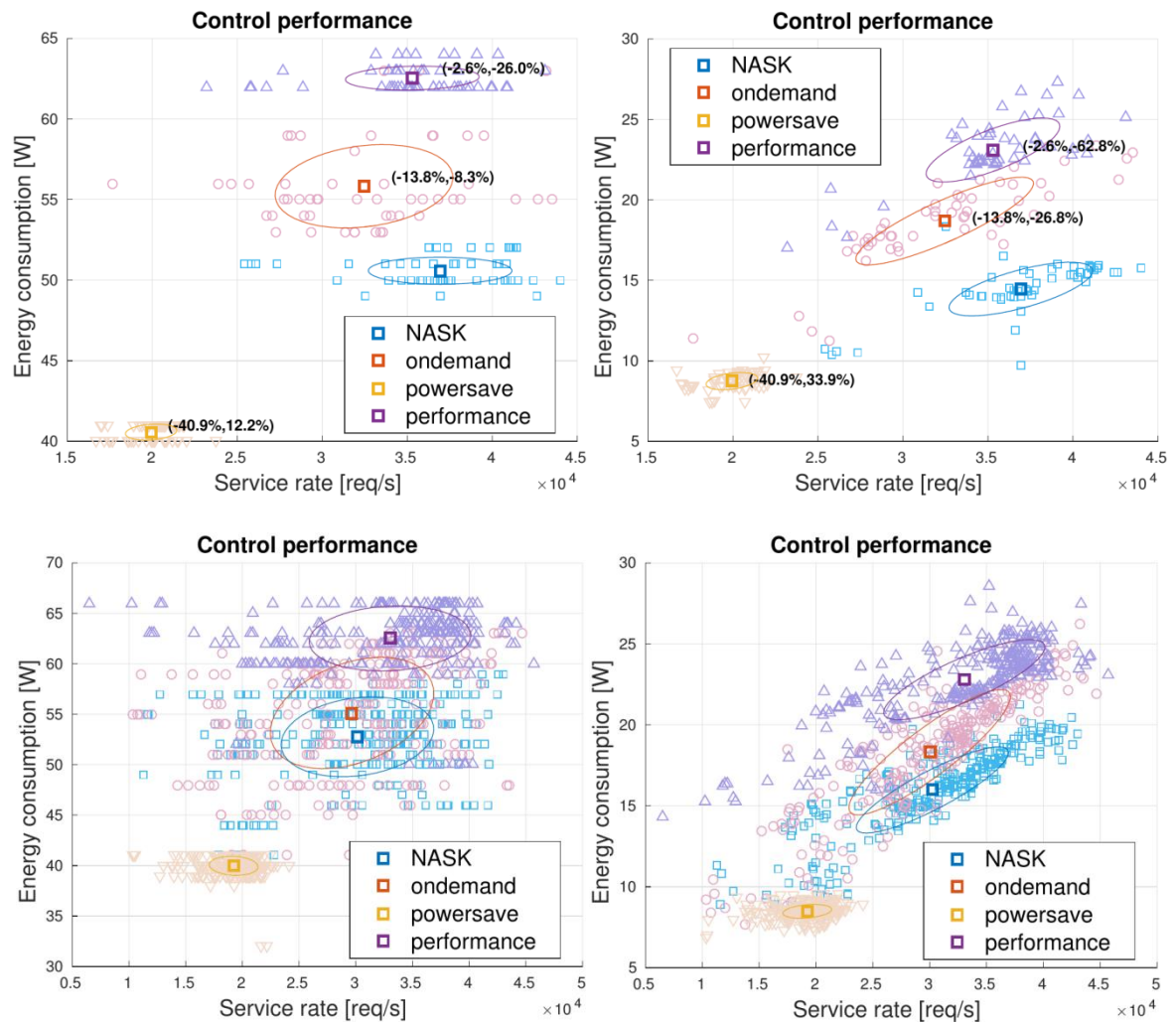
Interpretacja wyników:

- wykonany sterownik umożliwił inspekcję liczby pakietów o 1.5% większej niż liczba pakietów przefiltrowanych przez system pracujący na sterowniku *ondemand*,
- **jednocześnie** wykonany sterownik zużył o 4.8% mniej energii elektrycznej niż sterownik *ondemand*.

### ***Serwer HTTP***

Opracowany sterownik optymalizuje pracę komercyjnej wersji (trial) serwera HTTP. Na potrzeby eksperymentów w laboratorium zainstalowano kopie następujących serwisów sieciowych:

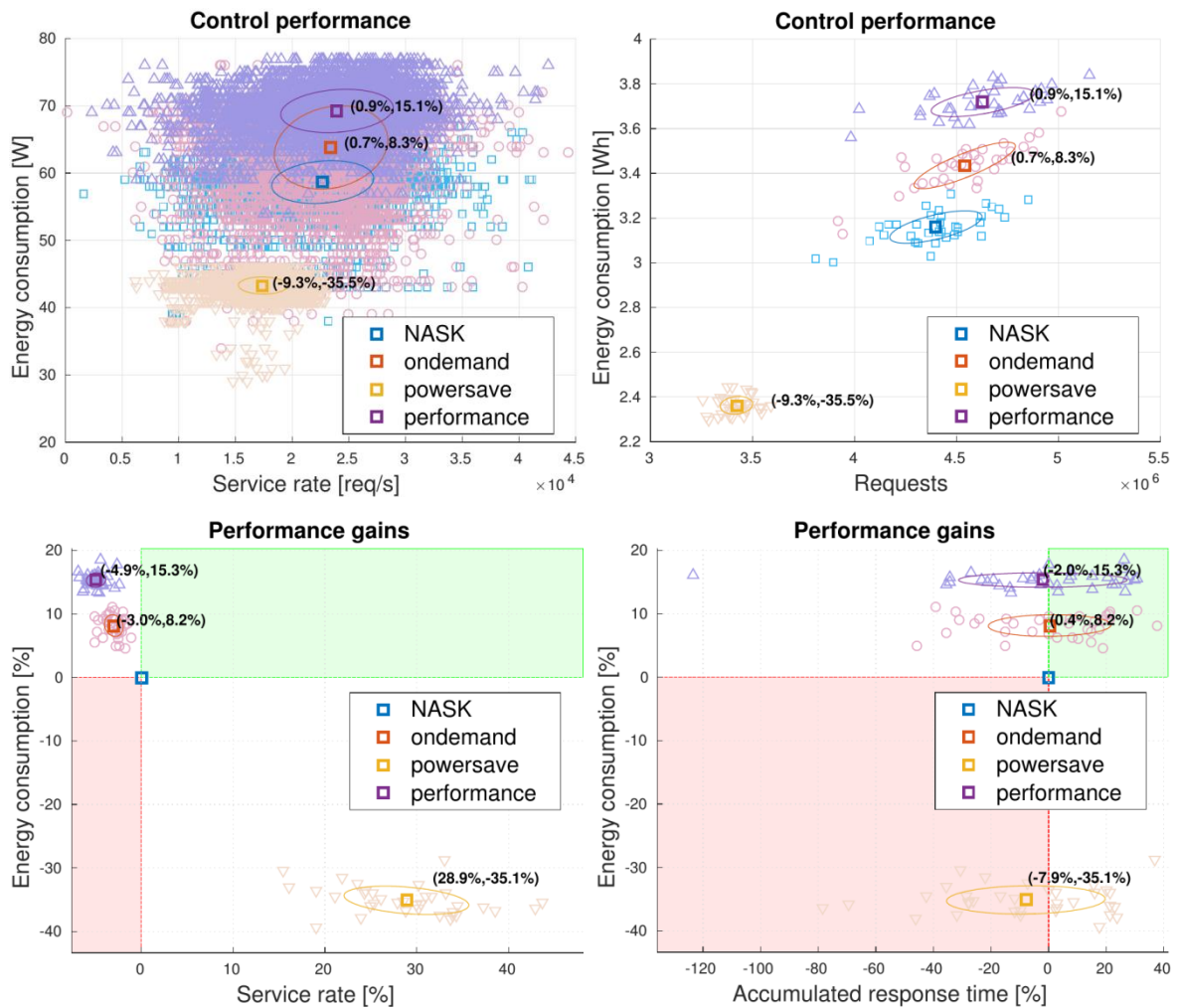
- [aws.amazon.com](http://aws.amazon.com)
- [www.allegro.pl](http://www.allegro.pl)
- [www.amazon.com](http://www.amazon.com)



Rysunek 3. Porównanie efektywności sterowania dla serwera NGINX+:  
system (po lewej), procesor (po prawej).

Interpretacja wyników:

- wykonany sterownik umożliwił obsługę zapytań http z szybkością o 13.8% większą niż sterownik *ondemand*,  
*jednocześnie* sterownik zużył o 8.3% mniej energii elektrycznej (o 26.8% mniej energii procesora) niż sterownik *ondemand*.



Rysunek 4. Porównanie efektywności sterowania dla serwera NGINX+ (aws.amazon.com).

Interpretacja wyników:

- wykonany sterownik umożliwił obsługę zapytań http z szybkością bliską szybkości sterownika *ondemand* (3% mniejszą) utrzymując porównywalny poziom czasu odpowiedzi serwera (0.4% wyższy),
- **jednocześnie** sterownik zużył o 8.2% mniej energii elektrycznej niż sterownik *ondemand*,
- w porównaniu ze wykonanym sterownikiem sterownik *powersave* zużył 35.1% mniej energii obsługując zapytania http z szybkością niższą o 28.9% (co skutkowało o 7.9% krótszym czasem odpowiedzi).

### Podsumowanie

Opracowany pakiet oprogramowania może stanowić bazę dla usługi projektowania *dedykowanych* modułów jądra systemu Linux optymalizujących pracę CPU serwerów udostępniających określony zestaw usług. Wśród potencjalnych partnerów można wymienić także producentów procesorów.

### 3. Energooszczędny system HPC i system zbierania danych pomiarowych

#### 3.1. Algorytm rozkładania obciążeń w rozproszonym systemie przetwarzania danych

Drugi obszar badawczy obejmował implementację, analizę i testowanie opracowanego w ramach projektu algorytmu rozkładania obciążeń w rozproszonym systemie obliczeniowym złożonym z klastrów maszyn i zdalnych centrów danych. Wspomniany algorytm został zaimplementowany w środowisku symulacyjnym. Przygotowano kilka scenariuszy badań. Rozważano kilka systemów obliczeniowych o różnej skali i złożoności. Zbadano skuteczność algorytmu, zwracając uwagę na poziom zużycia energii, przy uwzględnieniu konieczności zapewnienia gwarantowanej jakości usług.

Wyniki badań podsumowano w publikacji na konferencję HPCS 2019:

Tytuł referatu: *Energy-Efficient Workload Allocation in Distributed HPC System*

Dodatkowo, w ramach prac dokonano przeglądu aktualnie dostępnych środowisk i narzędzi do obliczeń wielkiej skali (HPC – High Performance Computing). Szczególną uwagę zwrócono na mechanizmy oszczędzania energii.

Wyniki prac podsumowano w artykule do czasopisma JTIT:

Tytuł artykułu: *Infrastructure and Energy Conservation in Big Data Computing: A Survey*

#### 3.2. Algorytmy sterowania aktywnością i zasięgiem transmisji w bezprzewodowych systemach pozyskiwania danych pomiarowych

Główny nurt badań prowadzonych w ramach projektu obejmował opracowanie nowych rozwiązań dla energooszczędnych centrów przetwarzania danych. Wykonawcy projektu rozszerzyli nieco zakres badań obejmując nimi również energooszczędne systemy zbierania danych pomiarowych. Uwaga koncentrowała się na energooszczędnych systemach i algorytmach przesyłania danych zgromadzonych przez urządzenia pomiarowe do odbiorcy tych danych – centrum przetwarzania. Wybrane techniki sterowania aktywnością urządzeń oraz zasięgiem transmisji zostały zweryfikowane w środowiskach symulacyjnych i sieciach testowych w laboratorium.

Wyniki badań podsumowano w publikacji na konferencję ICMCIS 2019:

Tytuł referatu: *Performance Analysis of Energy Conservation Techniques for Wireless Sensor Networks*

### 4. Załączniki - publikacje

- Michał Getka, Michał Karpowicz, *Fixed-point self-tuning CPU performance controller for Linux kernel*, konferencja HPCS 2019 (wysłany do recenzji)
- Piotr Arabas, Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz, *Energy-Efficient Workload Allocation in Distributed HPC System*, konferencja HPCS 2019 (wysłany do recenzji)
- Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz, Michał P. Karpowicz, *Infrastructure and Energy Conservation in Big Data Computing: A Survey*, Journal of Telecommunication and Information Technology (przyjęty, ukaże się w czerwcu 2019)
- Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz, Andrzej Sikora, *Performance Analysis of Energy Conservation Techniques for Wireless Sensor Networks*, konferencja ICMCIS 2019 (przyjęty)