

Politechnika Warszawska

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI
I TECHNIK INFORMACYJNYCH



Instytut Informatyki

Praca dyplomowa magisterska

na kierunku Informatyka
w specjalności Inżynieria Systemów Informatycznych

Automatyczny sposób ewaluacji przestępstw

Bruce Wayne
Numer albumu -1

promotor
Lucius Fox PhD

Warszawa, 2019r.

KARTA INFORMACYJNA DYPLOMANTA
studia II stopnia



Bruce Wayne

Kierunek: Informatyka

Specjalność: Inżynieria Systemów Informatycznych

Adres: 1 Nameless St.
Gotham City, NY 10001

ŻYCIORYS

Bruce Wayne podróżuje od 14. roku życia. Ukończył kursy na Sorbonie i innych uniwersytetach europejskich. Nigdy nie pozostał na uczelni na tyle długo by ukończyć semestr, stąd w naukach czy inżynierii nie legitymuje się żadnym tytułem - niemal na pewno zna jednak osobiście ministra edukacji urzędującego w kraju czytelnika. Poza życiem akademickim przyswoił rozmaite sztuki walki w czasie swych licznych podróży oraz opracował szerokie portfolio wynalazków. Spośród tych ostatnich większość pozostaje ściśle tajna jako prywatny majątek rodzinnej korporacji.

Poniżej podpis:

.....

Złożył egzamin dyplomowy w dniu 2019r.

z wynikiem Ocena pracy dyplomowej

Średnia ocen ze studiów Ogólny wynik studiów

Recenzent pracy dyplomowej

Ocena recenzenta

Przewodniczący Kom.Egz.Dyplomowego

Członkowie Kom.Egz.

.....

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
INSTYTUT INFORMATYKI

Autor: Bruce Wayne

Tytuł pracy dyplomowej: Automatyczny sposób ewaluacji przestępstw

Opiekun naukowy: Lucius Fox PhD

STRESZCZENIE

Celem tej pracy jest zaprojektowanie i udostępnienie prototypu rozwiązania problemu zdalnej akwizycji informacji o wzorcach, występujących w danych prawnie klasyfikowanych jako wrażliwe.

Cel ten motywowany jest minimalizacją powierzchni ataku na dane natury osobistej, a także ograniczeniem kosztów dodatkowej infrastruktury potrzebnej dostawcy do wdrożenia usługi. Proponowany model osiąga to poprzez zaangażowanie odbiorcy, który zyskuje w ten sposób dodatkowe możliwości. W pracy przedstawiono architekturę opracowaną na potrzeby celu szczegółowego w postaci automatycznej certyfikacji elastycznych odbiorców energii elektrycznej.

Dla osiągnięcia celu użyto autorskich algorytmów zaprojektowanych z użyciem wzorców programowania asynchronicznego i współbieżnego, oraz ich prototypowych implementacji.

Słowa kluczowe: DSR, pomiar elastyczności, architektura, programowanie asynchroniczne.

An automated system of crime evaluation

The aim of this thesis is design and publication of a prototype of a solution to the problem of remote acquisition of information about patterns emergin in data classified as sensitive by law.

The mentioned aim is motivated by a vision of lessening the attack surface where data of personal nature is concerned; also - of limiting the cost of additional infrastructure needed by the provider in order to implement the service. The proposed model achieves that through engagement of the user, who in turn gains additional possibilities. In this document an architecture is presented, designed to fulfill a specific purpose of automatizing certification of flexible users of electric energy.

Used for the purpose of achieving the stated goal were original, customly designed algorithms based on patterns of asynchronous and parallel programming, together with their prototypical implementations.

Keywords: DSR, flexibility estimation, architecture, asynchronous programming.

Najnowsze zmiany w projekcie

commit afdada59a9adf44fa8d22fa5d8bdf0955394725b
Author: kocielnik <longer44@gmail.com>
Date: Fri Jan 25 12:47:44 2019 +0100

Repo: Document Test-Driven Writing option.

commit 746e70cd3e7134b3ca694160754def90f91b7858
Author: Patryk Kocielnik <patryk@kocielnik.pl>
Date: Fri Jan 25 12:41:48 2019 +0100

Build: Switch to Pandoc, isolate personal data.

commit 622e45907865e95d01bafb390b1cbac1ad24a6a1
Author: Patryk Kocielnik <patryk@kocielnik.pl>
Date: Wed Jan 23 22:05:10 2019 +0100

Meat: Update.

commit c2cd6065fc9d8d382ed56ecc7c92e92b0fdbb737
Author: cmosek <cmosek@users.noreply.github.com>
Date: Fri Feb 10 19:22:17 2017 +0100

Update README.md

commit 28c47460a12ed01be1cecbd1afa46a0e971e41df
Author: lMikoaj Kowalski <mikolaj.kowalski@orange.com>
Date: Fri Feb 10 19:13:00 2017 +0100

add example

commit 504b1c45f8cf8065d8c8948f6ff7325c30ee9218
Author: lMikoaj Kowalski <mikolaj.kowalski@orange.com>
Date: Fri Feb 10 18:49:38 2017 +0100

readme

commit 80f80ed5fbaffd2ff4852d3acb06df6e6fbe295e
Author: lMikoaj Kowalski <mikolaj.kowalski@orange.com>
Date: Fri Feb 10 18:45:00 2017 +0100

template import

Streszczenie

Celem tej pracy jest zaprojektowanie i udostępnienie prototypu rozwiązania problemu zdalnej akwizycji informacji o wzorcach, występujących w danych prawnie klasyfikowanych jako wrażliwe.

Cel ten motywowany jest minimalizacją powierzchni ataku na dane natury osobistej, a także ograniczeniem kosztów dodatkowej infrastruktury potrzebnej dostawcy do wdrożenia usługi. Proponowany model osiąga to poprzez zaangażowanie odbiorcy, który zyskuje w ten sposób dodatkowe możliwości. W pracy przedstawiono architekturę opracowaną na potrzeby celu szczegółowego w postaci automatycznej certyfikacji elastycznych odbiorców energii elektrycznej.

Dla osiągnięcia celu użyto autorskich algorytmów zaprojektowanych z użyciem wzorców programowania asynchronicznego i współbieżnego, oraz ich prototypowych implementacji.

Słowa kluczowe: DSR, pomiar elastyczności, architektura, programowanie asynchroniczne.

An automated system of crime evaluation

The aim of this thesis is design and publication of a prototype of a solution to the problem of remote acquisition of information about patterns emergin in data classified as sensitive by law.

The mentioned aim is motivated by a vision of lessening the attack surface where data of personal nature is concerned; also - of limiting the cost of additional infrastructure needed by the provider in order to implement the service. The proposed model achieves that through engagement of the user, who in turn gains additional possibilities. In this document an architecture is presented, designed to fulfill a specific purpose of automatizing certification of flexible users of electric energy.

Used for the purpose of achieving the stated goal were original, customly designed algorithms based on patterns of asynchronous and parallel programming, together with their prototypical implementations.

Keywords: DSR, flexibility estimation, architecture, asynchronous programming.

Spis treści

Wykaz skrótów	3
Definicje	4
1 Wstęp	5
Dotychczasowe badania	5
Problemy	6
Rozwiązania funkcjonujące w Polsce	6
Proces dodawania elastycznego odbiorcy do puli usług DSR	8
Problemy	10
2 Cel pracy	11
Definicja problemu	11
3 Podsumowanie	13
Wnioski	13
Literatura	14

Wykaz skrótów

- MITM (ang. *man-in-the-middle*) - atak dokonywany przez podstawionego pośrednika.

Definicje

- odbiorca - gospodarstwo domowe lub przedsiębiorstwo pobierające energię elektryczną,
- agregator - podmiot gromadzący odbiorców celem zaoferowania operatorowi sieci przesyłowej zwiększonej stabilności,
- FMA (*Flexibility Measurement Architecture*) - architektura pomiaru elastyczności opisywana w niniejszej pracy,
- użytkownik - odbiorca energii korzystający z implementacji proponowanej architektury do celów pomiaru własnej elastyczności,
- zamawiający - agregator użytkowników,
- scenariusz - określany przez zamawiającego zbiór warunków, jakie muszą zostać spełnione dla zaliczenia użytkownikowi próby elastyczności,
- DSR (*demand-side response*) - program angażowania strony popytowej w zapewnienie stabilności sieci elektroenergetycznej,
- elastyczność - zdolność odbiorcy do modyfikowania swego profilu zapotrzebowania na żądanie [1],
- indeks elastyczności - miara elastyczności oznaczana symbolem FI , obliczana przez uśrednienie wag wypełnionych przez użytkownika scenariuszy przy zastąpieniu wszystkich scenariuszy nie wypełnionych wartością 0,
- pomiar elastyczności - proces wyznaczania indeksu elastyczności,
- próba elastyczności - składowa procesu pomiaru elastyczności odbiorcy,
- FI - wartość spełniająca warunki: $FI = x | x \in \mathbb{R}^+ \wedge x \leq 1$ [2],
- architektura korporacyjna - architektura opisująca przedsiębiorstwo jako system dla celów analizy lub wprowadzenia zmian; wbrew brzmieniu terminu nie rozumiemy pod nim jedynie “korporacji” w polskim znaczeniu tego słowa [3].

Rozdział 1

Wstęp

W sierpniu 2015 roku polski rynek energii elektrycznej po raz pierwszy od 35 lat znalazł się w sytuacji wprowadzenia 20 stopnia zasilania [4]. Powodem były przedłużające się susze i związany z nimi niedobór wody niezbędnej do chłodzenia generatorów w elektrowniach.

Mechanizm stopni zasilania zaprojektowany został właśnie z myślą o takich sytuacjach. Pozwala on w sytuacji krytycznej unikać tzw. *blackoutu* poprzez wprowadzenie czasowych limitów poboru energii dla podmiotów o zapotrzebowaniu powyżej 300 KW. Limity te są drastyczne i równe dla wszystkich największych odbiorców. Alternatywą dla wprowadzenia stopni zasilania pozostaje jedynie wyłączenie zasilania na całym obszarze, a nagły, gwałtowny wzrost zapotrzebowania na energię może wystąpić z dnia na dzień [5].

Sposobem na wykorzystanie siły wolnego rynku dla utrzymania zagrożonych dostaw energii jest program DSR. Według jego założeń, w sytuacji nagłego niedoboru energii niektóre podmioty dobrowolnie rezygnują z zaspokojenia części swego zapotrzebowania na rzecz pozostałych podmiotów. Wstrzymujący się od części konsumpcji otrzymują odpowiednie finansowe wynagrodzenie, a jego wymiar zależy od wielkości dostawy i jej zgodności z umową.

Jedną z podstawowych potrzeb programu DSR jest natomiast ocena wartości strategicznej poszczególnych odbiorców, którzy oceniani są według możliwości dostosowania własnego zapotrzebowania na energię do warunków panujących w Krajowej Sieci Elektroenergetycznej (KSE).

Przejście do modelu rynkowego, w którym odbiorca współuczestniczy w zapewnianiu stabilności dostaw energii dla wszystkich uczestników rynku, trwa od lat i jest wskazywane jako jedna z najbardziej korzystnych z bieżących perspektyw w dziedzinie energetyki [6].

Pomimo dynamicznego rozwoju pokrewnej dziedziny planowania zużycia energii [7], w kwestii szacowania elastyczności odbiorców otwarcie dotępne są przede wszystkim matematyczne modele problemu [8]. Zaproponowanie architektury dla systemu implementującego taką funkcjonalność stanowi szansę na lepsze umocowanie publicznej dyskusji o praktycznym wyznaczaniu elastyczności konsumenckiej w warunkach rynkowych, a przez to również na rozwój w kierunku zoptymalizowania tego procesu [9].

Dotychczasowe badania

Pytając o stosowane dotychczas metody pomiaru elastyczności energetycznej systemów napotykamy prace takie jak praca Lu [10], zawierająca modele opisu urządzeń będących ważnymi

częściami elastycznych systemów odbioru energii. Przykładowe modele - dla systemu składowania energii cieplnej oraz dla elektrycznego boileru, przedstawione zostały poniżej.

Matematyczny model systemu magazynowania ciepła:

$$a + b = c$$

Matematyczny model elektrycznego boileru:

$$2 + 2 = 5$$

Problemy

Problemem istniejącym w tej dziedzinie jest wąska dostępność metod ewaluacji własnej elastyczności do celów certyfikacji. Co gorsza, problem ten dotyczy szczególnie osób i podmiotów chętnych dołączyć do programu Emergency DSR.

W procesie certyfikacji dla potrzeb DSR istnieje zatem wąskie gardło w postaci skomplikowanego procesu natury administracyjnej i owo ograniczenie jest kluczową blokadą napływu podmiotów certyfikowanych, gotowych służyć odpowiedzią w postaci ograniczenia zapotrzebowania na energię w sytuacji gdy zajdzie taka potrzeba.

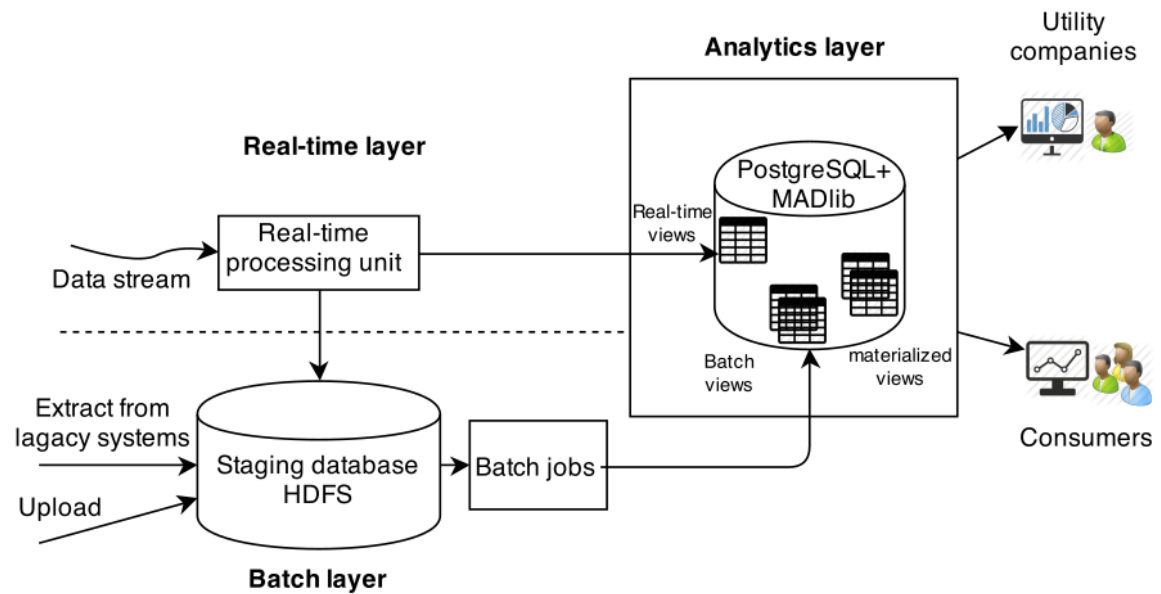
Rozwiązania funkcjonujące w Polsce

W roku 2018 wciąż domyślną architekturą rozwiązań monitorowania zachowań konsumentów jest wysyłanie ich danych dotyczących ich zużycia energii do zewnętrznego centrum przetwarzania, gdzie następnie dane są analizowane [11]. Po dostarczeniu danych do odpowiedniego serwera lub klastra obliczeniowego, dane przetwarzają się przy pomocy pakietu obliczeniowego takiego jak R, Matlab albo też rozwiązania dedykowanego [12]. W tej drugiej kategorii wiodącymi producentami są SAP oraz Oracle, a najnowsi gracze na rynku to Autogrid, C3Energy oraz OPower.

Istotną, powszechną wadą rozwiązań klasy specjalistycznej jest brak pełnych danych o wyborze algorytmów w nich dostępnych, a także brak dostępu do implementacji tych algorytmów czy ich modyfikowania według potrzeb. Konsument może również nie być zadowolony z szerokości zakresu informacji o nim, do których daje jego dostawcy analityka przy użyciu surowych danych jak w systemie SMAS [13] przedstawionym na Rys. 1.1.

Jak zaznaczono w pracy [14], poprzez uzyskanie dostępu do danych z inteligentnego licznika można wywnioskować odpowiedzi na wiele pytań dotyczących osobistych, potencjalnie głęboko prywatnych, zachowań użytkowników. Podczas, gdy niektóre z tych odpowiedzi mogą się wydawać nieszkodliwe, jak np. pora oglądania telewizji, inne mogą być dość dotkliwe, jak np. obserwacja, że w domu obecny jest noworodek.

Niektóre z odpowiedzi na potencjalnie delikatne pytania wyszczególniono na Rys. 1.2 za [14].



Rys. 1.1: Architektura systemu SMAS, źródło: [13]

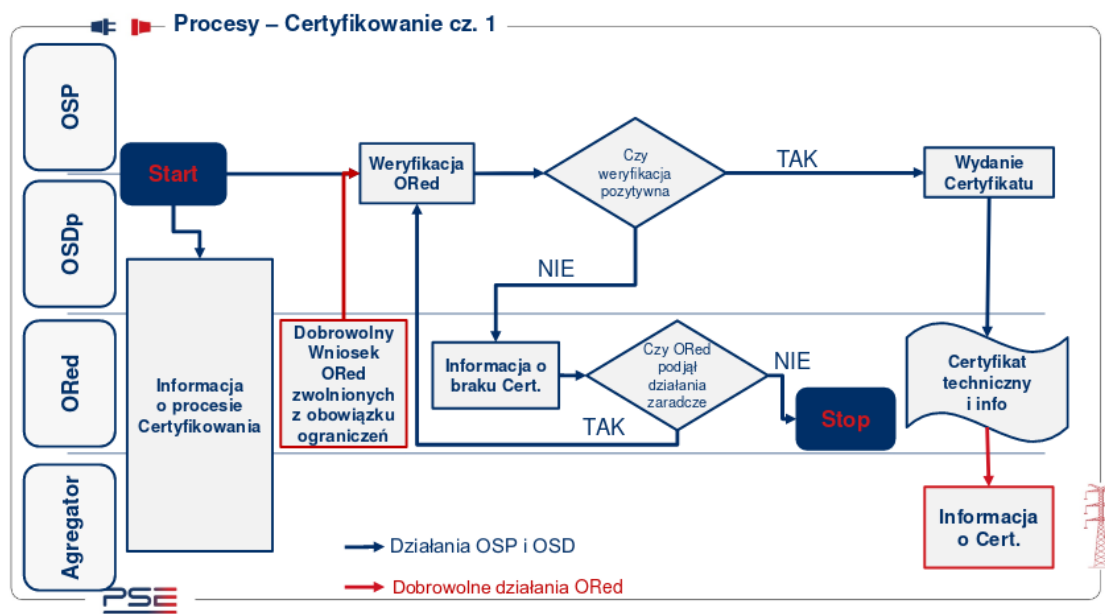
Table 1. Private questions and answers that fine-grained power consumption data reveals.

Question	Pattern	Granularity
Were you home during your sick leave?	Yes: Power activities during the day No: Low power usage during the day	Hour/Minute
Did you get a good night's sleep?	Yes: No power events overnight for at least 6 hours No: Random power events overnight	Hour/Minute
Did you watch the game last night?	Yes: Appliance activity matching TV program No: No power event in accordance with game showtime	Minute/Second
Did you leave late for work?	Yes: Last power event time later than Google maps estimated travel time No: Last power event time leaves enough time for commute	Minute
Did you leave your child home alone?	Yes: Single person activity pattern No: Simultaneous power events in distinct areas of the house	Minute/Second
Do you eat hot or cold breakfast?	Hot: Burst of power events in the morning (microwave/coffee machine/toaster) Cold: No power event matching hot breakfast appliances	Second

Rys. 1.2: Wybrane potencjalnie delikatne pytania i wzorce wnioskowania o odpowiedziach na nie, źródło: [14]

Proces dodawania elastycznego odbiorcy do puli usług DSR

Bieżący schemat procedury kwalifikacji elastycznego odbiorcy do programu DSR przedstawia Rys. 1.3. Schemat pochodzi z prezentacji aktualnych reguł aukcji DSR na polskim rynku energii elektrycznej.



Rys. 1.3: Przebieg certyfikacji elastycznego odbiorcy, źródło: [15]

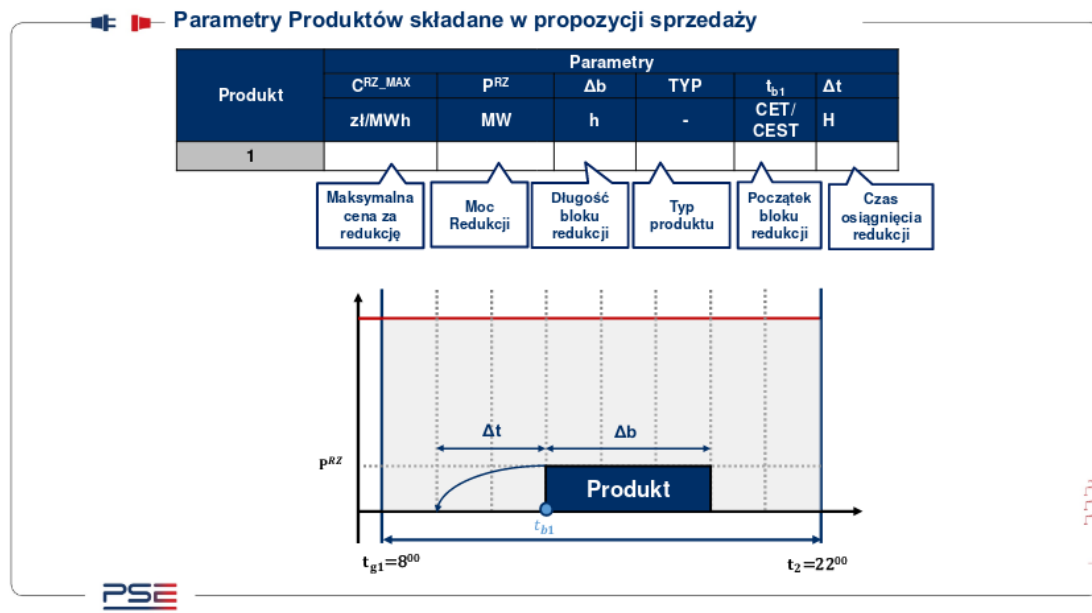
W trakcie procesu certyfikacji, elastyczny odbiorca deklaruje kluczowe parametry swojej oferty. Parametry te przedstawia Rys. 1.4.

Proces przyjmowania odbiorcy do puli DSR w przypadku pomyślnego toku zdarzeń kończy się przyznaniem certyfikatu. Przebieg tego procesu ilustruje Rys. 1.5.

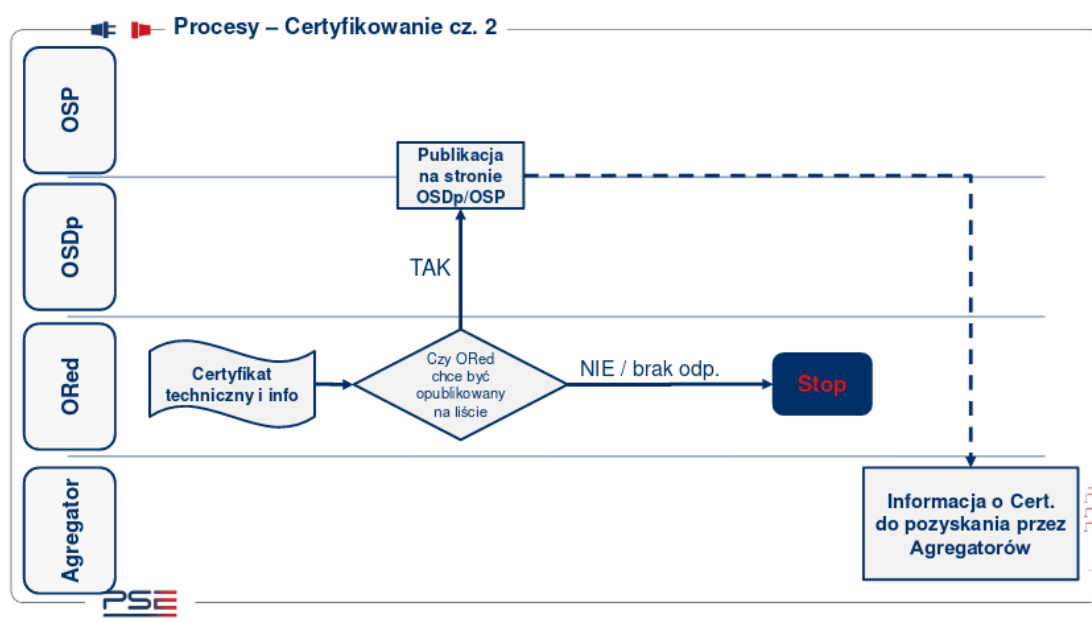
Propozycji zautomatyzowania tego procesu dostarcza praca [16]. Ujęto w niej ilościowo procedurę przyjęcia elastycznego odbiorcy do programu DSR. Proces przyjęcia odbiorcy polega na dołączeniu jego oferty do puli usług branych pod uwagę.

Oferta każdego z odbiorców, wraz z jej konkretnymi parametrami: wymiarem, ceną oraz jakością, nazywana jest dalej “produktem”. Na procedurę wyboru składają się następujące kroki:

1. Wybranie najtańszego zestawu dostępnych produktów DSR Rozwiązanie szczególnego przypadku “problemu plecakowego” przy użyciu puli produktów oferowanych przez elastycznych odbiorców,
2. W razie niemożności skomponowania puli wystarczającej, wyznaczenie puli maksymalizującej uzyskaną moc, i na końcu
3. Wybranie i przetestowanie puli ostatecznie wybranych produktów.



Rys. 1.4: Parametry do podania przez Obiekt Redukcji w propozycji sprzedaży, źródło: [15]



Rys. 1.5: Procedura przyznania certyfikatu elastycznemu odbiorcy, źródło: [15]

Problemy

Ponadto, pośród rozwiązań tej klasy na rynku energii nie ma rozwiązania, które pozwoliłoby na prosty wgląd do kodu źródłowego, przetestowanie go w warunkach właściwych dla użytkowanego systemu przetwarzania danych czy prostą, samodzielną adaptację do własnych potrzeb.

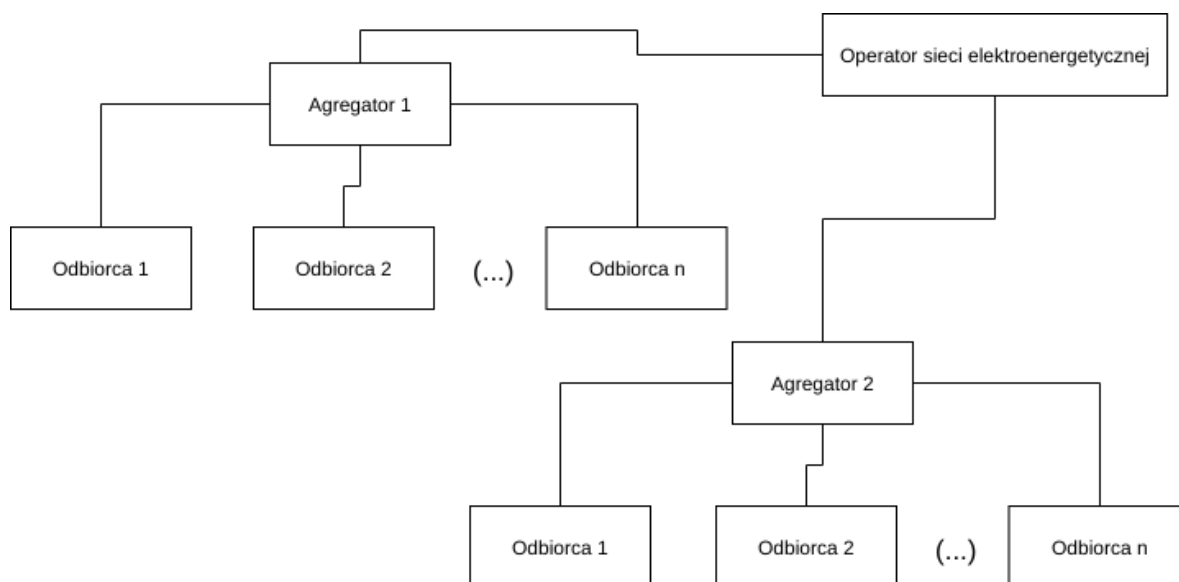
Rozdział 2

Cel pracy

Celem tej pracy jest uproszczenie procesu certyfikacji elastycznych odbiorców dla potrzeb programu DSR z perspektywy certyfikującego oraz certyfikowanego.

Definicja problemu

Poszukiwana jest architektura do celów zautomatyzowanego profilowania konsumentów pod kątem elastyczności [17], uzupełniającego dostępne rozwiązania automatycznego sterowania odbiornikami w systemie DSR [7]. Za podstawę profilowania przyjmuje się funkcję indeksu elastyczności FI oraz niepewność jej wyznaczenia.



Rys. 2.1: Relacje pomiędzy głównymi interesariuszami projektu, opracowanie własne.

Z perspektywy interesariuszy, priorytetami projektu są następujące aspekty:

- bezpieczeństwo danych użytkownika,
- wiarygodność danych dostarczanych przez system zamawiającemu, oraz
- wygoda interfejsów dla użytkownika i zamawiającego.

Zależności pomiędzy głównymi interesariuszami przedstawiono na Rys. 2.1. Charakterystyczną cechą architektury FMA jest przechowywanie i przetwarzanie wrażliwych danych o odbiorcy przy użyciu urządzeń zainstalowanych u niego samego. Do realizacji tego zadania przewidziano opisywaną dalej kombinację elementów.

Rozdział 3

Podsumowanie

Celem tej pracy było przedstawienie architektury umożliwiającej zautomatyzowaną ocenę elastyczności odbiorcy energii elektrycznej w kontekście udziału w programie DSR.

Przedstawiona w tej pracy architektura spełnia postawione przez nią zadanie, implementując ocenę elastyczności ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa wrażliwych danych o odbiorcy, wiarygodności rezultatów, wygody dostępu do wyników pomiaru oraz łatwości dalszego rozwoju systemu.

Charakterystyka architektury FMA sprawia, że odbiorca może w bardziej zautomatyzowany sposób zrównoważyć koszty odbieranej energii zyskami z tytułu modyfikowania profilu swego zapotrzebowania [18].

Warto zwrócić uwagę, iż opracowana architektura może być użyta do szacowania energetycznej samowystarczalności zarówno pojedynczych odbiorników, jak i budynków a nawet ich zespołów. Jak podają autorzy przykładowych badań, zgrupowanie 700 gospodarstw domowych do celów pomiaru ich zagregowanej elastyczności zgodnie ze wzorem eq. ??, pozwoliło na osiągnięcie niepewności pomiaru nie przekraczającej 10% [19].

Wnioski

Zaprojektowanie rozwiązania odpowiadającego postawionym kryteriom okazało się możliwe, a przygotowany prototyp potwierdził działanie rozwiązania w zamierzony sposób.

Literatura

- [1] C. Finck, R. Li, R. Kramer, and W. Zeiler, “Quantifying demand flexibility of power-to-heat and thermal energy storage in the control of building heating systems,” *Applied Energy*, vol. 209, pp. 409–425, Jan. 2018.
- [2] R. G. Junker *et al.*, “Characterizing the energy flexibility of buildings and districts,” *Applied Energy*, vol. 225, pp. 175–182, Sep. 2018.
- [3] M. Leks, “Parę słów o architekturze korporacyjnej | ArchiReq | Architektura korporacyjna w praktyce,” 23-May-2010. [Online]. Available: <http://archireq.pl/pl/pare-slow-o-architekturze-korporacyjnej/>. [Accessed: 14-Jan-2019].
- [4] W. Dołęga, “National grid electrical power infrastructure – threats and challenges,” *Polityka Energetyczna*, vols. T. 21, z. 2, 2018.
- [5] PAP, “PSE: wprowadzenie stopni zasilania w sierpniu zapobiegło blackoutowi,” *energianews*, 03-Nov-2015. [Online]. Available: <https://energia.rp.pl/energetyka-zawodowa/elektroenergetyka/10388-pse-wprowadzenie-stopni-zasilania-w-sierpniu-zapobieglo-blackoutowi>. [Accessed: 24-Dec-2018].
- [6] S. D. Ramchurn, P. Vytelingum, A. Rogers, and N. R. Jennings, “Putting the ‘smarts’ into the smart grid: A grand challenge for artificial intelligence,” *Communications of the ACM*, vol. 55, no. 4, pp. 86–97, Jan. 2012.
- [7] M. Curtis, J. Torriti, and S. T. Smith, “Demand Side Flexibility and Responsiveness: Moving Demand in Time Through Technology,” in *Demanding Energy: Space, Time and Change*, A. Hui, R. Day, and G. Walker, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 283–312.
- [8] P. D. Lund, J. Lindgren, J. Mikkola, and J. Salpakari, “Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, pp. 785–807, May 2015.
- [9] S. Kulkarni, W. Randall, and D. Nowicki, “The Perfect Formula,” *Supply Chain Management Review*, vol. March, pp. 12–19, Mar. 2016.
- [10] Z. Lu, H. Li, and Y. Qiao, “Probabilistic Flexibility Evaluation for Power System Planning Considering Its Association With Renewable Power Curtailment,” *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 33, no. 3, pp. 3285–3295, 2018.
- [11] P. Carroll, T. Murphy, M. Hanley, D. Dempsey, and J. Dunne, “Household Classification Using Smart Meter Data,” *Journal of Official Statistics*, vol. 34, no. 1, pp. 1–25, Mar. 2018.
- [12] X. Liu, L. Golab, W. Golab, I. F. Ilyas, and S. Jin, “Smart Meter Data Analytics: Systems, Algorithms and Benchmarking,” *ACM Transactions on Database Systems*, vol. 42, no. 1, 2016.

- [13] X. Liu, L. Golab, and I. F. Ilyas, “SMAS: A smart meter data analytics system,” in *2015 IEEE 31st International Conference on Data Engineering*, 2015, pp. 1476–1479.
- [14] A. Molina-Markham, P. Shenoy, K. Fu, E. Cecchet, and D. Irwin, “Private memoirs of a smart meter,” in *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Building - BuildSys '10*, 2010, p. 61.
- [15] J. Socha, “DSR Program Bieżący Uproszczony,” *Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.*, p. 26, Jul. 2018.
- [16] M. Klos, M. Jakubek, and M. Krupa, “On a Market Design of Emergency DSR in Poland - Valuation and Optimal Acquisition of Services,” in *2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 2018, pp. 1–5.
- [17] D. Alahakoon and X. Yu, “Smart Electricity Meter Data Intelligence for Future Energy Systems: A Survey,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 12, no. 1, pp. 425–436, Feb. 2016.
- [18] C. Edmunds, S. Galloway, and S. Gill, “Distributed electricity markets and distribution locational marginal prices: A review,” in *2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2017, pp. 1–6.
- [19] A. Wang, R. Li, and S. You, “Development of a data driven approach to explore the energy flexibility potential of building clusters,” *Applied Energy*, vol. 232, pp. 89–100, Dec. 2018.