

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

PODPORA INTELIGENTNÉHO RIADENIA
ENERGETICKÝCH SIETÍ
DIPLOMOVÁ PRÁCA

2023

BC. OMAR AL-SHAFE'I

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

PODPORA INTELIGENTNÉHO RIADENIA
ENERGETICKÝCH SIETÍ
DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program: Informatika
Študijný odbor: Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky
Školiteľ: prof. RNDr. Mária Lucká, PhD.

Bratislava, 2023
Bc. Omar Al-Shafe'i



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Bc. Omar Al-Shafe'i
Študijný program: aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, magisterský II. st., denná forma)
Študijný odbor: informatika
Typ záverečnej práce: diplomová
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Podpora inteligentného riadenia energetických sietí
Support for intelligent management of smart energy networks

Anotácia: Stabilita inteligentnej energetickej siete a zabezpečenie dodávok elektrickej energie môže byť potenciálne narušená integráciou obnoviteľných zdrojov energie (napr. fotovoltických panelov), veľkých úložísk energie (batérií), ale aj významným rozvojom elektromobility. Tieto nové prvky sa v súčasnosti v čoraz väčšej miere stávajú súčasťou moderných inteligentných energetických sietí a preto ich integrácia do celej sústavy sa stala mimoriadne dôležitou. Pôvodne jednosmerná sieť, kde sa energia od veľkých výrobcov elektriny dodávala spotrebiteľom, sa postupne mení na obojsmernú sieť, v ktorej sa mnohí odberatelia - vďaka obnoviteľným zdrojom - stávajú súčasne aj drobnými výrobcami – prosumeri. Kvôli garancii stability celej sústavy a zabezpečeniu minimálnej ceny bolo potrebné vytvoriť tzv. agregátorov flexibility, ktorým účastníci siete môžu poskytnúť svoju flexibilitu. Pod flexibilitou pritom rozumieme práva (1) na odber vyrobenej alebo uskladnenej elektrickej energie (napr. z fotovoltiky, batérie alebo elektromobilu) v určitom čase a (2) obmedzenie spotreby (napr. vypnutie kúrenia). Navrhnete a overte model práce agregátora flexibility, ktorý vďaka inteligentným algoritmom a dátovej analýze dokáže optimalizovať tok energie, zabezpečiť stabilné dodávky energie a minimalizovať náklady spotrebiteľov. Svoje riešenie obmedzte pre vybraný typ prosumerov/spotrebiteľov. Použite pritom vhodné optimalizačné metódy, predovšetkým metódy strojového učenia. Svoje riešenie implementujte a porovnajte s existujúcimi riešeniami na dostupných dátach.

Literatúra:

1. Li, T., Sun, B., Chen, Y., Ye, Z., Low, S. H., & Wierman, A. (2020). Real-time Aggregate Flexibility via Reinforcement Learning. 1–17. <http://arxiv.org/abs/2012.11261>
2. Fernando Lezama, Joao Soares, Bruno Canizes, Zita Vale: Flexibility management model of home appliances to support DSO requests in smart grids, Sustainable Cities and Society, Volume 55, 2020, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102048>
3. Tongxin Li and Bo Sun and Yue Chen and Zixin Ye and Steven H. Low and Adam Wierman: Learning-Based Predictive Control via Real-Time Aggregate Flexibility, IEEE Transactions on Smart Grid, 12 (6), 2021, 97–4913, <https://doi.org/10.1109%2Ftsg.2021.3094719>.



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

4. Steve Wattam: Artificial intelligence and machine learning approaches to energy demand-side response: A systematic review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 130, 2020, 109899, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109899>.

Vedúci: prof. RNDr. Mária Lucká, PhD.
Katedra: FMFI.KAI - Katedra aplikovanej informatiky
Vedúci katedry: doc. RNDr. Tatiana Jajcayová, PhD.
Dátum zadania: 13.12.2022

Dátum schválenia: 13.12.2022

prof. RNDr. Roman Ďurikovič, PhD.
garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce

Pod'akovanie: Tu môžete pod'akovať školiteľ ovi, prípadne ďalším osobám, ktoré vám s prácou nejako pomohli, poradili, poskytli dáta a podobne.

Abstrakt

Slovenský abstrakt v rozsahu 100-500 slov, jeden odstavec. Abstrakt stručne sumarizuje výsledky práce. Mal by byť pochopiteľný pre bežného informatika. Nemal by teda využívať skratky, termíny alebo označenie zavedené v práci, okrem tých, ktoré sú všeobecne známe.

Kľúčové slová: jedno, druhé, tretie (prípadne štvrté, piate)

Abstract

Abstract in the English language (translation of the abstract in the Slovak language).

Keywords:

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Úvod | 1 |
| 1 Východiská | 2 |
| 1.1 Technologické východiská | 2 |
| 1.1.1 Knižnica numpy | 2 |
| 1.1.2 Knižnica scipy | 2 |
| 1.1.3 Knižnica matplotlib | 2 |
| 1.2 Teoretické východiská | 2 |
| 1.3 Section | 3 |
| 2 Návrh riešenia | 4 |
| 2.1 Logika prvého rádu | 4 |
| 2.1.1 Jazyk logiky prvého rádu | 4 |
| 2.1.2 Semitermy a semiformuly | 4 |
| 2.1.3 Termy a formuly | 4 |
| 2.1.4 Henkinove konštanty a Henkinove axiómy | 4 |
| 2.2 Sekventový kalkulus LK^h | 4 |
| 2.2.1 Multimnožiny | 4 |
| 2.2.2 Sekventy | 4 |
| 2.2.3 Odvodzovacie pravidlá | 4 |
| 2.2.4 Dôkazy | 5 |
| 3 Implementácia | 6 |
| 3.1 Testovacie dáta | 6 |
| Záver | 7 |
| Príloha A | 9 |
| Príloha B | 10 |

Zoznam obrázkov

Zoznam tabuliek

Úvod

Problematika zabezpečenia stabilných dodávok elektrickej energie pri používaní obnoviteľných zdrojov sa stáva čoraz dôležitejšou. Pomocou dobrého modelu vieme zabezpečiť komunikáciu medzi systémovým operátorom a agregátorom tak, aby flukcuácie elektrickej energie a náklady boli čo najmenšie. Naša práca implementuje model PPC, ktorý je vylepšením štandardne používaného modelu MPC. Model PPC je lepší než model MPC vo viacerých oblastiach, ale spomeňme tie najdôležitejšie - systémovému operátorovi stačí vedieť MEF (tj. flexibilitu), vôbec nemusí vedieť o stavoch a požiadavkách jednotlivých spotrebiteľov. Po druhé, systémový operátor vie znížiť náklady spotrebiteľov elektrickej energie lepšie v modeli PPC než v modeli MPC.

Jeden z dôvodov, prečo sme si vybrali implementáciu PPC je ten, že vieme vypočítať pomocou hlbokého učenia flexibilitu, ktorú agregátor poskytuje systémovému operátorovi. Hlboké učenie používame najmä preto, že výpočet MEF môže byť výpočtovo náročný a vďaka hlbokému učeniu ho vieme aproximovať. Danú flexibilitu následne použijeme ako penalizujúci prvok v našom PPC systéme. Tento náš model naprogramujeme v programovacom jazyku python.

V prvej kapitole vysvetlíme teoretické pojmy a knižnice, na ktoré sa odvolávame v ďalších kapitolách.

V druhej kapitole uvádzame náš návrh riešenia, ktorý ako sme už uviedli, sa zakladá na PPC modeli.

V tretej kapitole vysvetlíme spôsob našej implementácie, jednotlivé metódy a aj kód.

1 Východiská

ABC

Tu je nejaký text.

1.1 Technologické východiská

V tejto sekcii spomíname knižnice, frameworky a ďalšie technológie, ktoré sme pri implementácii použili.

Tu je nejaký text.

1.1.1 Knižnica numpy

1.1.2 Knižnica scipy

1.1.3 Knižnica matplotlib

Tu je nejaký text.

Subsubsection

Tu je nejaký text.

Paragraph Tu je nejaký text.

Subparagraph Tu je nejaký text.

1.2 Teoretické východiská

maximum flexibility feedback

sa nazýva maximalny feedback entropy ak (p_1^*, \dots, p_n^*) je unikatne riesenie.

Operator vie naklady (c_1, \dots, c_n) a odozvu, ale nevie buduće naklady (c_{i+1}, \dots, c_T) a odozvu (p_{i+1}, \dots, p_T)

Algoritmus hlbokého ucenia

$$j(\psi) = \sum_{t=1}^T E[r(x_t, p_t) + aH(\psi(x_t))] \quad (1.1)$$

Tu je nejaký text.

1.3 Section

Tu je nejaký text.

2 Návrh riešenia

V tejto kapitole vysvetlí ujdeme a popisujeme náš návrh riešenia tohoto problému.

2.1 Logika prvého rádu

2.1.1 Jazyk logiky prvého rádu

2.1.2 Semitermy a semiformuly

$d(A)$ je hĺbka formuly A

$A_x[t]$ je substitúcia

2.1.3 Termy a formuly

2.1.4 Henkinove konštanty a Henkinove axiómy

c_A je Henkinova konštanta

$A\{r/s\}$ je hlboké nahradenie (deep replacement)

2.2 Sekventový kalkulus LK^h

2.2.1 Multimnožiny

2.2.2 Sekventy

2.2.3 Odvodzovacie pravidlá

$$\frac{}{S}, \quad \frac{S_1}{S}, \quad \frac{S_1 \quad S_2}{S},$$

Axioms

$$\text{Ax} \frac{}{A, \Gamma \Rightarrow \Delta, A} \text{ (A is atomic),} \quad \text{Ax} \perp \frac{}{\perp, \Gamma \Rightarrow \Delta}, \quad \text{Ax} \top \frac{}{\Gamma \Rightarrow \Delta, \top}.$$

Propositional rules

$$\text{L}_{\neg} \frac{\neg A, \Gamma \Rightarrow \Delta, A}{\neg A, \Gamma \Rightarrow \Delta}, \quad \text{R}_{\neg} \frac{A, \Gamma \Rightarrow \Delta, \neg A}{\Gamma \Rightarrow \Delta, \neg A},$$

Structural rules

$$\text{Cut} \frac{\Gamma \Rightarrow \Delta, A \quad A, \Gamma \Rightarrow \Delta}{\Gamma \Rightarrow \Delta}.$$

2.2.4 Dôkazy

$$\pi \vdash \Gamma \Rightarrow \Delta$$

$|\pi|$ je hĺbka dôkazu π

$r(\pi)$ je rezová hodnosť dôkazu π

3 Implementácia

V tejto kapitole vysvetlíujeme a popisujeme náš návrh riešenia tohoto problému.

3.1 Testovacie dáta

Záver

Literatúra

- [1] Ioannis Antonopoulos, Valentin Robu, Benoit Couraud, Desen Kirli, Sonam Norbu, Aristides Kiprakis, David Flynn, Sergio Elizondo-Gonzalez, and Steve Wattam. Artificial intelligence and machine learning approaches to energy demand-side response: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130:109899, 2020.
- [2] Fernando Lezama, Joao Soares, Bruno Canizes, and Zita Vale. Flexibility management model of home appliances to support dso requests in smart grids. *Sustainable Cities and Society*, 55:102048, 2020.
- [3] Tongxin Li, Bo Sun, Yue Chen, Zixin Ye, Steven H. Low, and Adam Wierman. Learning-based predictive control via real-time aggregate flexibility. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(6):4897–4913, nov 2021.
- [4] Tongxin Li, Bo Sun, Yue Chen, Zixin Ye, Steven H. Low, and Adam Wierman. Learning-based predictive control via real-time aggregate flexibility. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(6):4897–4913, 2021.

Príloha A: obsah elektronickej prílohy

Príloha B: Používateľská príručka