

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04009

研究課題名（和文）EVアグリゲータの当日計画作成における計算時間短縮手法の研究

研究課題名（英文）A Study of Reducing Computational Time of Daily V2G Planning for EV Aggregators

研究代表者

田村 滋（Tamura, Shigeru）

明治大学・総合数理学部・専任教授

研究者番号：90708885

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,300,000 円

研究成果の概要（和文）： EVアグリゲータがV2Gの計画を作成する際には、EVの利用可能時間や利用可能量の不確実性をシナリオ化し、多数のシナリオに対する確率的最適化問題として扱う必要がある。EVの不確実性をより細かく扱おうとするとシナリオ数すなわち変数の数が多くなり最適化問題を解く計算時間が長くなる。本研究では、計算時間短縮方法のために、シナリオのシナリオ長を減らすことによる計算時間短縮のための新しい手法を確立することを目的とする。

シミュレーションにより新手法を評価したところ、新手法は計算時間を大きく削減できるが従来の計算時間短縮方法ほど速くはない、しかし計算精度の点では新手法の方が従来手法より良いことがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

EVアグリゲータがV2Gの計画を作成する際のEVの利用可能時間や利用可能量の不確実性は、将来の時間になる程不確実性が増すことから、シナリオのシナリオ長を減らす考え方は当然であり实际的である。

今回の研究成果から新手法はEVアグリゲータの当日計画の標準的な手法になりうる。また、一般的な計算時間の制約のある確率的最適化問題において、シナリオ長を減らすことにより計算時間短縮が図れ、その分のシナリオ数を増やすことができることから、新手法はより厳密な確率的最適化問題の解を求めることに適用することができる。

研究成果の概要（英文）： When an EV aggregator creates a V2G plan, it is necessary to scenario the uncertainty of the available time and amount of EVs and treat it as a stochastic optimization problem for a large number of scenarios. This increases the number of scenarios, i.e., the number of variables. The objective of this study is to establish a new method to reduce the computation time by reducing the scenario length of scenarios.

Simulations were performed to evaluate the new method, and it was found that the new method reduces the computation time significantly, but is not as fast as the conventional method, but the new method is better than the conventional method in terms of computation accuracy.

研究分野：電力工学関連

キーワード：電気自動車 EVアグリゲータ シナリオ 計算時間短縮 シナリオリダクション シナリオ長

1. 研究開始当初の背景

太陽光発電などの再生可能エネルギーの大量導入に伴い、その発電の断続性から需給調整の観点から柔軟な発電・負荷源 (flexible source) が望まれている。特に、世界的に EV が今後急速に導入される気運にあり、V2G による EV バッテリーの充放電は有望な flexible source の一つとして期待される。

しかし、EV を flexible source として計画利用する際には、EV 所有者の利便性を考慮した EV の利用可能時間や利用可能量の不確実性を扱う必要がある。そこで、EV アグリゲータの V2G の計画は EV の不確実性をシナリオ化し、多数のシナリオに対する確率的最適化問題として扱われてきた。

EV の不確実性をより細かく扱おうとするとシナリオ数すなわち変数の数が多くなり最適化問題を解く計算時間が長くなることから、計算時間短縮のためにシナリオ数を減らすシナリオリダクションの手法が研究されている。しかし、研究されているシナリオリダクションは、多数のシナリオの中から代表的なシナリオを抽出するものであり、計算時間短縮には効果があるがその最適解の精度は必ずしも十分とは言えず、実用化には疑問が残る。

2. 研究の目的

EV アグリゲータ計画においては確率的最適化問題の解を短時間で求める必要がある。一方、問題の変数に相当するシナリオはシナリオ数とシナリオ長 (一つのシナリオを構成する要素) からなり、計算時間の短縮は変数の数を減らすことにより実現される。以下を本研究の目的とする。

- (1) EV アグリゲータの計画の作成において、確率的最適化問題に用いるシナリオのシナリオ長を減らすことによる計算時間短縮のための新しい手法を確立する。
- (2) 新手法の有効性を示すために新手法と従来のシナリオリダクション手法による計算時間や最適解の比較を実施する。

3. 研究の方法

EV アグリゲータ計画において、基本問題 (原問題) の定式化に対し、従来法のシナリオリダクション手法と新手法を定式化し、それらのプログラムを作成、実行し、計算時間と最適解を比較する

(1) 原問題

スポット市場の 1 日の 30 分毎の 48 のタイムスロットを扱う。

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{t_{\text{end}}} \pi_t^{\text{spot}} * (q_t^c - q_t^d) + \sum_{\omega=1}^{\omega_0} P(\omega) * \sum_{t=1}^{t_{\text{end}}} \pi_t^{\text{imb}} * |I_{\omega,t}| \quad (1)$$

$$I_{\omega,t} = (q_t^c - q_t^d) - \varepsilon_{\omega,t} (c_{\omega,t}^c - c_{\omega,t}^d) \quad (2)$$

π_t^{spot} : 時刻 t のスポット市場価格,

q_t^c : 時刻 t の EV 充電のためのスポット市場からの買電力量,

q_t^d : 時刻 t の EV 放電のためのスポット市場への売電力量,

ω : シナリオ, ω_0 : 原問題のシナリオ数,

$P(\omega)$: シナリオ ω の確率,

π_t^{imb} : 時刻 t のインバランス料金,

$I_{\omega,t}$: 時刻 t , シナリオ ω でのインバランス量,

$\varepsilon_{\omega,t}$: =1 (プラグインしている時), =0 (プラグアウトしている時),

$c_{\omega,t}^c$: 時刻 t , シナリオ ω での EV 充電量,

$c_{\omega,t}^d$: 時刻 t , シナリオ ω での EV 放電量,

t_{end} : タイムスロット数 (=48)

(2) 従来法 (シナリオリダクション手法)

$$\text{Min } z' = \sum_{t=1}^{t_{\text{end}}} \pi_t^{\text{spot}} * (q_t^c - q_t^d) + \sum_{\omega'=1}^{\omega'_B} P'(\omega') * \sum_{t=1}^{t_{\text{end}}} \pi_t^{\text{imb}} * |I'_{\omega',t}| \quad (3)$$

ω' : シナリオリダクション後のシナリオ, ω'_B : シナリオリダクション後のシナリオ数,

$P'(\omega')$: シナリオ ω' の確率,

$I'_{\omega',t}$: 時刻 t , シナリオ ω' でのインバランス量

(3) 新手法

$$\text{Min } z'' = \sum_{t''=1}^{t''_{\text{end}}} \pi_{t''}^{\text{spot}} * (q_{t''}^c - q_{t''}^d) + \sum_{\omega''=1}^{\omega''_P} P''(\omega'') * \sum_{t''=1}^{t''_{\text{end}}} \pi_{t''}^{\text{imb}} * |I''_{\omega'',t''}| \quad (4)$$

$\pi_{t''}^{\text{spot}}$: シナリオ長変更後の時刻 t'' のスポット市場価格,

$q_{t''}^c$: シナリオ長変更後の時刻 t'' の EV 充電のためのスポット市場からの買電力量,

$q_{t''}^d$: シナリオ長変更後の時刻 t'' の EV 放電のためのスポット市場への売電力量,

ω'' : シナリオ長変更後のシナリオ, ω''_P : シナリオ長変更後のシナリオ数,

$P''(\omega'')$: シナリオ ω'' の確率,

$\pi_{t''}^{\text{imb}}$: シナリオ長変更後の時刻 t'' のインバランス料金,

$I''_{\omega'',t''}$: シナリオ長変更後の時刻 t'' , シナリオ ω'' でのインバランス量,

原問題のシナリオは、国土交通省が 2010 年に調査した道路交通センサスデータの解析結果に基づいて作成した。原問題 ω_0 のシナリオ数は 513 (512 は 2 トリップ車, 1 は終日駐車車)であり、その一部を表 1 に示す。表 1 では、車のプラグインの状態を 1 : プラグイン, 0 : プラグアウトで表している。

原問題の 513 シナリオがシナリオリダクションによって削減され、削減後の 65 シナリオと 57 シナリオ ($=\omega'_B$) を従来法とし、比較対象とする。

新手法のシナリオはタイムスロット数を 48 から 24 に変更する。その一部を表 2 に示す。

表 1 原問題のシナリオと確率 (1 : プラグイン, 0 : プラグアウト)

No. of scenario	Probability	Hour																								Battery consumption by	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0.75kWh	2.25kWh
1	0.00014083	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	0.00018774	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3	0.000252997	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4	0.000271936	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
5	0.000264697	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
6	0.000186677	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
7	0.000125475	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
8	9.81E-05	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
9	6.59E-05	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
10	4.63E-05	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
11	0.00038845	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
12	0.000517933	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
509	0.000757252	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
510	0.00059221	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
511	0.000397602	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
512	0.000279336	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
513	0.51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	N/A

表 2 新手法のシナリオと確率 (1 : プラグイン, 0 : プラグアウト)

No. of scenario	Probability	Hour																							Battery consumption by		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0.75kWh	2.25kWh
1	0.000563321	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	0.000751095	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3	0.001011989	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4	0.001087742	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
5	0.001058786	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
6	0.000746708	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
7	0.0005019	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
8	0.000392511	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
9	0.000263527	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
10	0.000185141	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
11	0.0015538	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
12	0.002071733	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
125	0.003029009	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
126	0.002368841	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
127	0.001590406	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
128	0.001117344	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
129	0.51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	N/A

4. 研究成果

(1) 研究成果

原問題, 従来法 (手法 1), 新手法 (手法 2) を, Intel(R) Core(TM) i9-10900 CPU @ 2.80GHz のコンピュータで, MATLAB R2023a の MILP (Mixed Integer Linear Programming) ソルバーによって実行した。

表 3 に原問題, 手法 1, 手法 2 の変数と制約の数を示す。表 3 から, 新手法の問題サイズは, 従来法の 65 シナリオと 57 シナリオの間に相当することがわかる。

表 3 問題の変数と制約の数

Method		Original problem	Method 1		Method 2
			65 scenarios	57 scenarios	
Number of variables	Continuous value	114,000	14,544	12,768	13,992
	Binary	21,600	2,784	2,448	2,608
	Total	135,600	17,328	15,216	16,600
Number of constraints	Unequality	314,400	40,224	35,328	38,416
	Equality	46,176	5,856	5,136	5,680
	Total	360,576	46,080	40,464	44,096

表 4 に各手法の目的関数値と原問題の目的関数値との誤差の割合と, 各手法の原問題に対する計算時間の割合を示す。

表 4 から, 手法 2 は原問題よりもはるかに高速であるが手法 1 ほど高速ではないことがわかる。しかし, 手法 2 は手法 1 よりも目的関数値の精度が高いことがわかる。

表 4 各手法の目的関数値と計算時間

Method	Original problem	Method 1		Method 2
		65 scenarios	57 scenarios	
Error of value of objective function	-	14.90%	11.87%	4.94%
Relative computational time	100.00%	1.22%	0.89%	2.98%

(2) 今後の展望

計算時間は問題の大きさだけでなく、問題の複雑さにも依存する可能性があるため、提案手法の優位性を評価するためには、さらにより多くの比較事例を今後行う必要があると考える。

<引用文献>

- ① MLIT in Japan, [Online], Available: <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/ir-data.html>.
- ② 高橋知・田村滋：「EV アグリゲータビジネスの可能性に関する検討」，電学論 B, Vol. 141, No. 10, pp. 620-628 (2021)

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1 . 発表者名 田村 滋
2 . 発表標題 確率計画法によるV2Gスケジューリングの計算時間短縮の検討
3 . 学会等名 電気学会電力技術/電力系統技術合同研究会
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Shigeru Tamura
2 . 発表標題 A Preliminary Study of Temporal Variables Reduction to Reduce Computational Time of V2G Scheduling in Stochastic Programming Approach
3 . 学会等名 IEEE ISGT Asia 2023 (国際学会)
4 . 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6 . 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------