サンプルコードにおける太陽光発電モジュールの直並切替問題

Ver. 2014011415

Takashi Okamoto (takashi@faculty.chiba-u.jp)

1 はじめに

本サンプルコードでは，文献 [1] で定式化された太陽光発電モジュールの直並切替問題とは少し異なる記号と定式化を用いている。本稿では，実装に用いた定式化について説明する。

2 定式化

モジュール n の電流の大きさを $x^i_n \in \mathbb{R}, n = 1, \cdots, N$ とし，層（並列接続されたモジュール群）k の電圧の大きさを $x^v_k \in \mathbb{R}, k = 1, \cdots, K$ とする。

モジュール n とモジュール $n+1$ 間の接続方法を $y_n \in \{0, 1\}, n = 1, \cdots, N-1$ で表し，$y_n = 0$ で並列接続，$y_n = 1$ で直列接続とする。$\boldsymbol{y}$ は，1 を区切りとして，0 の連続で 1 つの層を表す。たとえば，$\boldsymbol{y} = (0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, \cdots)$ は，モジュール 1 からモジュール 5 ($n = 1, \cdots, 5$) が第 1 層 ($k = 1$) を構成しており，モジュール 6 とモジュール 7 ($n = 6, 7$) が第 2 層 ($k = 2$) を構成していることを表す。このとき，モジュール n と層番号 k を結びつける関数としては

$$k(n, \boldsymbol{y}) = \begin{cases} 1 & (n = 1) \\ 1 + \sum_{m=1}^{n-1} y_m & (n > 1) \end{cases} \tag{1}$$

が考えられる。また，$k(n)$ の逆関数に相当する K 個のモジュール番号集合

$$\mathcal{N}_l(\boldsymbol{y}) = \{n \mid k(n, \boldsymbol{y}) = l,\ n = 1, \cdots, N\},\ l = 1, \cdots, K \tag{2}$$

を定義する。

上述の決定変数を用いて，太陽光発電モジュールの直並切替問題は

$$\begin{aligned}
&\underset{\boldsymbol{x}^i, \boldsymbol{x}^v, \boldsymbol{y}}{\text{maximize}} && \sum_{n=1}^{N} x^i_n x^v_{k(n,\boldsymbol{y})} && \text{(3a)} \\
&\text{subject to} && 0 \le x^i_n \le I^{MM},\ n = 1, \cdots, N && \text{(3b)} \\
& && 0 \le x^v_k \le V^{MM},\ k = 1, \cdots, K && \text{(3c)} \\
& && f\left(x^i_n, x^v_{k(n,\boldsymbol{y})}\right) = 0,\ n = 1, \cdots, N && \text{(3d)} \\
& && \sum_{n=1}^{N-1} y_n + 1 = K && \text{(3e)} \\
& && V^{Sm} \le \sum_{k=1}^{K} x^v_k \le V^{SM} && \text{(3f)} \\
& && I_k(\boldsymbol{x}^i, \boldsymbol{y}) = I_1(\boldsymbol{x}^i, \boldsymbol{y}),\ k = 2, \cdots, K && \text{(3g)} \\
& && 0 \le I_k(\boldsymbol{x}^i, \boldsymbol{y}) \le I^{MM},\ k = 1, \cdots, K && \text{(3h)} \\
& && 0 \le \sum_{n \in \mathcal{N}_k(\boldsymbol{y})} I^{SC}_n \le I^{MM},\ k = 1, \cdots, K && \text{(3i)} \\
&\text{where} && k(n, \boldsymbol{y}) = \begin{cases} 1 & (n = 1) \\ 1 + \sum_{m=1}^{n-1} y_m & (n > 1) \end{cases} && \text{(3j)} \\
& && \mathcal{N}_l(\boldsymbol{y}) = \{n \mid l(n, \boldsymbol{y}) = k,\ n = 1, \cdots, N\},\ l = 1, \cdots, K && \text{(3k)}
\end{aligned}$$

$$f\left(x_n^i, x_k^v\right) = \begin{cases} 0 & (x_n^i \geq I_n^{SC} \text{ and } x_k^v = 0) \\ 0 & (x_k^v \geq V_n^{OC} \text{ and } x_n^i = 0) \\ \left(I_n^{SC} - \dfrac{V_n^{OC} - R_n^S I_n^{SC}}{R_n^{SH}}\right) \dfrac{1 - \exp\left\{C_n\left(x_k^v + R_n^S x_n^i - V_n^{OC}\right)\right\}}{1 - \exp\left\{C_n\left(R_n^S I_n^{SC} - V_n^{OC}\right)\right\}} & \text{(otherwise)} \\ \qquad - \dfrac{x_k^v + R_n^S x_n^i - V_n^{OC}}{R_n^{SH}} - x_n^i & \end{cases} \tag{3l}$$

$$I_k(\boldsymbol{x}^i, \boldsymbol{y}) = \sum_{n \in \mathcal{N}_k(\boldsymbol{y})} x_n^i \tag{3m}$$

と定式化される。この定式化での問題のサイズは，連続決定変数の数 $N_x = N + K$, 離散決定変数の数 $N_y = N - 1$, 目的関数の数 $P = 1$, 不等式制約条件件数 $M = 2N + 6K + 2$, 等式制約条件件数 $Q = N + K$ となり，文献 [1] の値を代入すると，$N_x = 63$, $N_y = 53$, $P = 1$, $M = 164$, $Q = 63$ となる。

参考文献

[1] 林孝則：「太陽光発電モジュールの直並切替と混合整数最適化問題」，平成 26 年電気学会全国大会講演論文集 (2014)