

AR モデルによる電力使用量予測を用いた電力監視システムの開発

高木 博宣[†] 藤井 雅弘[†] 渡辺 裕[†]宇都宮大学大学院工学研究科情報工学専攻[†]

1. はじめに

近年、エコロジーの観点から省エネルギー・省電力が求められており、そのために電力使用状況を正確に把握することは非常に重要である[1]. そこで、本研究では利用施設内での電力使用量を収集する手段として PLC(Power Line Communication : 電力線通信)を用いた電力監視システムを提案する. 機能要求として、電力使用量の可視化と、将来の電力使用量予測に基づく警報発令を挙げる. このシステムにより電力需要を予測し対策を講じることで、電力使用量を削減することが可能であると考えられる. 本研究では、近い将来の電力需要を時系列の予測問題として扱い、電力使用量の推移モデルとして AR モデルを用いた予測方法を提案し、検証実験により提案手法の有効性を示す.

2. 電力使用量監視システム

図 1 に提案するシステムの構成を示す. システム利用者は、インターネット上に公開しているサーバにアクセスすることで、各種サービスを利用することが出来る. サーバから利用者への機能提供は、サーバのデータベースに格納されている電力使用量データを用いて行う. サーバは Web サーバ、データベースサーバ、データ解析やグラフ描画等を行うアプリケーションサーバから構成されている. また、サーバは PLC モデムと Ethernet を介して接続されており電力使用量データを一定時間ごとに取り得ている. PLC モデムは電力線を介してデータ収集ネットワークと接続されており、サーバからのアクセスに連動して観測点からデータを取得する.

システムの提供機能として、警報機能がある. 過去の電力使用量を用いて数分から数十分先の電力使用量を予測し、警報を発令することで、電力使用量を削減するための手段を講じる事が可能となる.

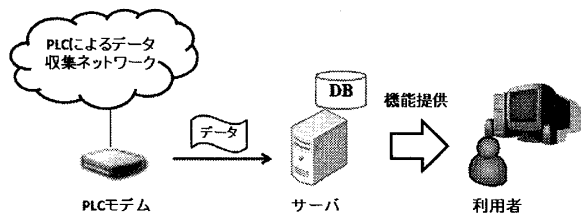


図 1 システム構成

3. 電力使用量予測

本研究では電力使用量の予測のための推移モデルとして AR モデルを用いる. AR モデルについて、一変量の時系列 $\{x_t; t=1, \dots, n\}$ を用いて説明する. t は時刻を表すパラメータである. AR モデルは式(1)のように表現される[2].

$$\text{MODEL}(AR(m)): x_t = \sum_{i=1}^m a_i x_{t-i} + e_t \quad (1)$$

ここで、 m は次数、 a_i は自己回帰係数と呼ばれる. e_t は平均 0、分散 σ^2 の正規分布とする.

$\text{MODEL}(AR(m))$ の対数尤度は、

$$L(a_1, \dots, a_m, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \log 2\pi \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n (x_t - \sum_{i=1}^m a_i x_{t-i})^2 \quad (2)$$

で与えられる. 式(2)の対数尤度を最大にするために、

a_1, \dots, a_m と σ^2 の最尤推定を式(3)、式(4)により求める.

$$\begin{bmatrix} C(1,1) & \cdots & C(1,m) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C(m,1) & \cdots & C(m,m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(1,0) \\ \vdots \\ C(m,0) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \sum_{i=1}^m \hat{a}_i x_{t-i})^2 \quad (4)$$

ただし、

$$C(i, j) = \sum_{t=1}^n x_{t-i} x_{t-j} \quad (5)$$

とする. この m 次の自己回帰モデルは $m+1$ 個の自由パラメータをもっているため、その AIC(Akaike Information Criterion : 赤池情報量基準)は、

$$AIC(m) = n(\log 2\pi + 1) + n \log \hat{\sigma}^2 + 2(m+1) \quad (6)$$

によって定義される. この $AIC(m)$ を最小とするモデルを MAICE(Minimum AIC Estimate)モデルと呼び、このモデルの次数を m^* と表す. AIC に基づいて推定された MAICE モデルは、ただちに電力使用量予測に利用できる. 現時点 n までの時系列が与えられている場合には、一時期先の予測値は、

$$\hat{x}_{n+1} = \sum_{i=1}^{m^*} \hat{a}_i x_{n+1-i} \quad (7)$$

で与えられる.

A Study on Power Consumption Monitoring System with forecast function based on AR model

[†]Hironobu Takagi, [†]Masahiro Fujii, [†]Yu Watanabe

[†]Department of Information Science, Faculty of Engineering, Utsunomiya University

4. 検証実験

4.1. 予測間隔に関する検証

本システムでは、5分毎で電力使用量データを収集しているため、5分後の電力使用量を予測することが可能である。しかしながら、警報発令から対策を講じるまでの時間的余裕としては、5分間は十分ではないと考えられる。実用的には任意の将来の時刻での電力使用量予測が可能であることが望ましい。そこで、5分間隔で保持している電力使用量データを、一定時間分足し合わせてから予測に用いることで、10分後、20分後、30分後等、5分後より先の予測が可能となることを利用し、予測間隔を大きくする手法を試みる。

実験に用いるデータは、宇都宮大学工学部の2008年7月28日から2008年8月1日の平日の電力使用量とする。標本区間(n)は24時間分(30分後予測の場合なら $48(=(60 \times 24) / 30)$)とし、MAICEモデルに基づき予測を行う。なお、想定する最大次数 M は $2\sqrt{n}$ とし、10分後予測から60分後予測までを行う。表1に予測値の誤差($\varepsilon_i = \hat{x}_i - x_i$)の平均とその標準偏差を示す。ここで用いる予測値の誤差とは、予測値から実測値を引いた値である。

予測間隔が大きくなるにつれ標準偏差が大きくなり、予測精度が劣化することが確認できる。これは5分間隔で保持している電力使用量データを足し合わせることで、単位時間当たりの電力使用量の変化量が大きくなるためである。

4.2. 5分間データを用いた短期電力使用量予測

4.1節で用いた既存の予測方法では、予測間隔が大きくなるにつれ単位時間当たりの電力使用量の変化量が大きくなり、推定精度が劣化してしまう。そこで、この問題を軽減し、予測精度を向上させるために、5分間データを用いて5分より先の予測を行う別の方法を提案する。式(8)に提案手法を示す。

$$\hat{x}_{n+r} = \sum_{i=1}^{r-1} a_i \hat{x}_{n+r-i} + \sum_{i=r}^m a_i x_{n+r-i} \quad (8)$$

ここで、 r は予測間隔に依存するパラメータ(40分後予測の場合、 $8(=40/5)$)であり、 a_1, \dots, a_{m^*} は式(4)で求めた最尤推定 $\hat{a}_1, \dots, \hat{a}_{m^*}$ 、 $\hat{x}_{n+r-i}, \dots, \hat{x}_{n+1}$ は求めた予測値、 x_n, \dots, x_{n-m^*} は現時点 x_n までの時系列、 m^* はAICを最小とする次数である。これは、5分間隔データを用いて予測を行った場合に得られる予測値を真値と仮定し、それを用いてさらに5分後の予測を行い、この操作を r 回繰り返すことにより、ある時点における($5 \times r$)分後の予測値を得る手法である。

4.3. 提案手法による検証実験

本節では4.1節で示した既存手法と、4.2節で説明した提案手法の比較を行う。対象データは、宇都宮大学工学部の2008年7月28日から2008年8月1日の平日の電力使用量とした。実験は、標本区間(n)を24時間分としてMAICEモデルに基づき予測を行う。なお、既存手法における想定する最大次数 M は $2\sqrt{n}$ 、提案手法における想定する最大次数 M は $32 < \sqrt{288}$ とし、5分後予測から60分後予測までを行う。実験結果を図2に示す。縦軸を予測誤差の標準偏差[kw]、横軸を予測間隔[分]とする。

表1 各予測間隔における予測結果

	平均[kw]	標準偏差[kw]
10分後	-0.04	3.02
20分後	0.01	6.88
30分後	-0.19	12.22
40分後	1.34	23.30
50分後	1.34	33.39
60分後	0.83	47.69

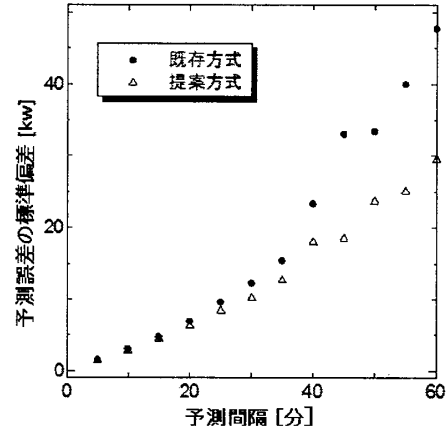


図2 平日の予測誤差の標準偏差

10分後から60分後までのすべての予測間隔で、提案手法の方が精度良く予測可能であることが確認できる。しかしながら、提案手法で予測した場合でも、予測間隔が大きくなるにつれ標準偏差が大きくなり、予測精度が劣化することが確認できる。これは、式(8)を用いて予測値を求める際に、予測間隔が大きくなるほど、誤差を含む予測回数が増え、予測誤差が累積し、誤差が大きくなってしまったためと考えられる。

5. おわりに

本稿では、試作した電力監視システムについて説明し、ARモデルによる2種類の電力使用量予測方法について提案した。また、実際の電力使用量の観測データを用いて予測実験を行い予測精度の検証を行った。

まず、既存のARモデルによる電力使用量予測に基づき検証を行い、予測間隔を大きくした場合の予測精度の劣化について示した。次に、5分間データを用いた短期電力使用量予測手法を提案し、その有効性を示した。

今後の課題として、警報を発する指標となる閾値の検討が挙げられる。実際のシステム運用を考えた場合、電力使用量削減のために、警報機能の信頼性が重要である。そこで、実際に警報機能を実装し、予測精度や適切な閾値についての詳細な検討を行う必要がある。

文献

- [1] 平岡 智武, 藤井 雅弘, 渡辺 裕, "PLCを用いた電力監視システムの開発", 信学技報, CS2077-21, Vol. 107pp.27-32, (2007).
- [2] 坂本 行, 石黒 真木夫, 北川 源二郎, 情報量統計学, 北川敏男(編), 喜安 善市(編), (社)協立出版株式会社, 東京, (1993).