

令和 7 年 5 月 27 日現在

機関番号：12613

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2024

課題番号：22K19827

研究課題名（和文）AIを活用した水道使用量からの社会的価値の高いビッグデータ創出

研究課題名（英文）Leveraging AI to create socially valuable big data from water usage

研究代表者

大瀧 友里奈（OTAKI, YURINA）

一橋大学・大学院社会学研究科・教授

研究者番号：50422382

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：AIを活用し、家庭での全水道使用量を行動別水使用量に分解することにより、生活や健康と深く関わる情報を創出し、将来的には介護や健康管理等に活用することを目指した。既に電力データにおいては、非侵入型負荷モニタリング（NILM）によりどの家電がいつ使われているかを推定する技術が開発されており、その技術との組み合わせが期待されてきた。本研究では、日本において独自に取得したデータセットについて、1D-CNNやUNet-WD等を用いた検討を行ったが、行動別水使用量に分解することは非常に困難であり、また現在の1秒データから、現実社会で想定されている1時間データへの粒度の拡大は実現することができなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、電気データにおいては、いつどのような用途に電気が使用されているかが明らかにできるようなNILM技術が開発され、高度な介護や健康管理への応用が期待されている。しかし電気データでは、トイレやお風呂のような利用が明らかにできないことから、水道スマートメータのデータからの行動推定による補完が期待されてきた。しかし、水道スマートメータから得られる1時間値では行動推定が非常に困難であることが明らかになったことで、水道スマートメータのデータの活用方法や粒度の高め方について考え方を転換する必要性が明らかになった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to generate valuable information closely related to daily life and health by utilizing AI to disaggregate total household water usage into individual water-use activities. The ultimate goal is to apply this information to areas such as elderly care and health management. Similar techniques have already been developed for electricity data, where Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) enables the estimation of which appliances are being used and when. By combining such technologies, more advanced applications in care and health management can be expected.

We conducted an analysis using a uniquely collected dataset from Japan, applying methods such as 1D-CNN and UNet-WD. However, disaggregating water usage by activity proved to be highly challenging. Moreover, we were not able to scale the data granularity from the current one-second intervals to the one-hour intervals assumed in real-world applications.

研究分野：環境科学

キーワード：水道使用量 ディスアグリゲーション AI 行動別水使用量 ビッグデータ

1. 研究開始当初の背景

各家庭の水道使用量は、1 - 2 か月に一度、検針員が水道メータを読み取ることによって把握され、水道料金が徴収されてきた。近年、新しく水道スマートメータという技術が開発され、水道使用量をデジタルデータとして把握しリアルタイムに近い形で把握できるようになった。日本での普及はまだこれからであるが、例えば、東京都では2030年までに全戸導入を、大阪市では2030年代に全戸導入を目指した取り組みが始まっている。水道スマートメータの普及により、各家庭の水道使用量というビッグデータが創出されるため、それを活用してどのような社会課題を解決できるか、検討の必要があった。

2. 研究の目的

本研究では、水道スマートメータから得られる各家庭の全水道使用量を行動別水使用量（入浴、炊事、トイレ等）に分解する（以下、ディスアグリゲーションとする）技術を開発することを目的とした。行動別水使用量は、生活や健康と深く関わる有益な情報を内包しているため、将来的には介護や健康管理、病気の早期発見等に活用できると考えた。

行動別水使用の時系列情報は、まさに生活の実態である。例えばトイレ回数や食事を作る回数の変化を把握し、糖尿病等の生活習慣病予防に寄与するような健康アドバイスやリスクの伝達を行うことができる。また、例えば自立型高齢者施設での健康管理や、介護現場での介護記録業務の負荷低減や記録の正確性向上にも資することができる。

家庭では、入浴、炊事、トイレなどさまざまな水使用行動が同時並行で行われているため、全水道使用量がわかるだけでは、「在宅の有無」や「漏水の有無」がわかる程度であり、その活用は限定的である。そこで、本研究ではAIを活用して、全水道使用量をディスアグリゲーションし、社会的に活用可能なビッグデータを創出することを目的とした。

3. 研究の方法

（1）家庭での行動別水使用量データの収集

水道スマートメータで得られるのは1時間毎の全水道使用量データである。しかし、1時間という間隔は大きいため、まずは1秒ごとの全水道使用量データからのディスアグリゲーションを目指し、その後、粒度を10秒、30秒、1分、10分、15分、30分、1時間と粗くしていくことを想定した。

AIによるディスアグリゲーションのためには、全水道使用量と行動別水使用量についての正解データを用いた学習が必要である。そのため、水道元栓部分および各蛇口部分に流量計とデータロガーを設置し、1秒毎の使用量データを取得した。

（2）機械学習によるディスアグリゲーション手法の開発

（1）で収集した1秒毎の家庭全体および蛇口別の水道使用量の経時データを用いて、機械学習により、家庭の全体の使用量から行動別水使用量にディスアグリゲーションすることを目指した。

4. 研究成果

家族構成が異なる8軒から、1秒ごとの全水道使用量と行動別水使用量を1か月間取得した。データクリーニング後、1軒分のデータについて、機械学習により、用途識別器を作成した。用途毎に利用の有無を出力する独立した二値識別器を複数構成した結果、全ての識別器で95%を超える精度で用途別の利用状況を推定できることを確認した。

そこで、異なる家庭であっても普遍的に識別できることを目指し、1d-CNNによる学習を試みたが、波長の特徴が家庭により大きく異なることから過学習しやすく、精度は60%程度にとどまった。

Talomaら(2024)が、イタリアにおいて1人暮らしの1家庭の水使用量のデータセット(WEUSEDTOデータセット)を公開している。全水道使用量は2020年9-10月、設備ごと(ビデ、キッチン、シャワー、洗面)の水道使用量は2019年3-11月と2020年7-10月の6秒毎のデータがある。これらのデータを使って、Faustineら(2020)によるUNet-NILM(NILM(Nonintrusive load monitoring)とは、家全体での電圧と電流の変化を分析し、その家で使用されている家電製品の分類、また個々のエネルギー消費量を予測すること)を再利用したモデルであるUNet-WDを提案している。UNet-NILMは分類と多出力回帰のマルチタスク学習をしているのに対し、UNet-WDは多出力回帰のみを行なっている。

このUNet-WDを改良して、日本において収集した水使用量データのディスアグリゲーションを試みたが、設備数がWEUSEDTOデータセットよりもかなり多いこともあり、精度が低くなる傾向があった。そこで、Talomaらの論文内に記述がない点(畳み込みのブロック数や余分な畳み込み層の削除等)を修正して、精度向上を目指した。また、スライドサイズやアーリーストッピングについても複数のトライアルを行った。

4変数のみで実験した結果(表1) UNet-WDと1d-CNNとでは、結果は互角であった。

表1 4変数のみでの実験結果

	集約秒	Bidet		kitchen faucet		shower		wash basin	
		1DCNN	UNetWD	1DCNN	UNetWD	1DCNN	UNetWD	1DCNN	UNetWD
EAC	6s	0.786	0.623	0.602	0.509	0.878	0.805	0.638	0.672
	10s	0.710	0.461	0.541	0.803	0.833	0.146	0.616	0.906
	1m	0.313	8.984	0.271	11.061	0.667	4.288	0.632	7.807
NDE	6s	0.292	0.544	0.555	0.420	0.096	0.656	0.926	0.699
	10s	0.437	0.907	0.535	0.921	0.107	0.299	0.952	0.966
	1m	0.946	17.471	0.805	24.190	0.231	12.754	0.973	10.919
MAE	6s	5.098	0.378	8.093	0.274	2.667	0.320	8.600	0.712
	10s	10.958	0.988	19.090	0.982	6.192	0.979	13.910	0.944
	1m	130.349	113.925	179.789	183.741	84.912	166.765	74.358	59.015

一方、全ての機器を対象として実験した結果、1秒単位ではすべての機器で1d-CNNのほうが良い結果となった。6秒単位および10秒単位では、トイレ、キッチン、シャワーは1d-CNN、それ以外はUNet-WDの方が良い結果となった。

これらの結果を反映し、UNet-WDを改良したTransUnetを実装した(図1)。

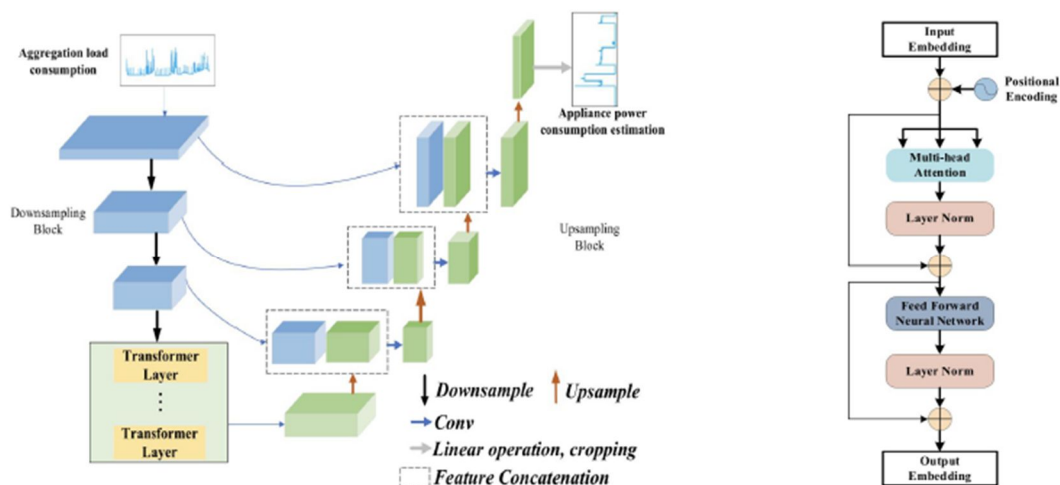


図1 TransUnet の概念図

しかし、行動別水使用量の種類によって、うまく評価できるモデルが異なり、うまく評価できているものでも、精度があがらなかった。電力の disaggregation においては、1秒より細かい粒度でのデータセットによる予測が主流となってきており、水道スマートメータの1時間値とは逆行する動きである。ここまで様々なモデルでの検討を行ってきたが、水道での disaggregation を現実的なデータセットで行うことは、非常に難しいことが明らかになった。そのため、全ての時間を対象とするのではなく、例えば夜間のトイレ使用のような限定的な使用用途を明らかにする等に活用することを考えていくことが望ましいと考える。

< 引用文献 >

Faustine, A., Pereira, L., Bousbiat, H., Kulkarni, S. (2020) UNet-NILM: A deep neural network for multi-tasks appliances state detection and power estimation in nilm. Proceedings of the 5th International Workshop on Non-Intrusive Load Monitoring, 84–88.

Taloma, R.L., Comminiello, D., Pisani, P., Cuomo, F. (2024) UNet-WD: Deep learning for multi-appliance water disaggregation. IFIP Networking Conference. 702-707. DOI: 10.23919/IFIPNetworking62109.2024.10619811

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Onuki Yutaro, Otaki Yurina	4. 巻 151
2. 論文標題 Managing Peak Water Demand Behavior through Dynamic Tariffs	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 Journal of Water Resources Planning and Management	6. 最初と最後の頁 04024071-1 -9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1061/JWRMD5.WRENG-6738	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
研究分担者	大塚 玲 (OTSUKA AKIRA) (50415650)	情報セキュリティ大学院大学・その他の研究科・教授 (32721)	
研究分担者	中田 亮太郎 (NAKATA RYOTARO) (10943566)	一橋大学・情報基盤センター・講師 (12613)	

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
---------	---------