MR センサを用いた家電モニタリングによる高齢者安否確認

富本 悠公^a 三浦 圭介^b 春山 和男^c
日高 良和^c 中島 翔太^a 田中 幹也^{a,*}

Safety Confirmation of Elderly People by Monitoring Home Electric Appliances Using Magnetic Resistance Sensor

Hiromasa Tomimoto^a, Keisuke Miura^b, Kazuo Haruyama^c,
Yoshikazu Hitaka^c, Shota Nakashima^a, Kanya Tanaka^{a,*}

(Received September 28, 2014; revised December 12, 2014; accepted December 22, 2014)

Abstract

In recent years, Japanese has been faced with an increasingly aging society, which has resulted in problems such as a lack of care workers and an increasing number of elderly people living alone. These problems are anticipated getting more serious by cabinet office of Japan. It will be hard for elderly people to receive care. Here, we propose a system for confirmation of the safety of elderly people. In this system, we can infer the safety of elder from operating home electric appliances by using the proposed system with a magnetic resistance sensor. When the home electric appliance is operating, a magnetic field is produced around its supply cable by the current passing through the supply cable. The magnetic resistance sensor detects the magnetic field. Herewith, the proposed system detects operating the home electric appliances and monitors the operations. From the operational status of the home electric appliances, we can confirm the safety of elderly people.

キーワード：高齢者，家電機器，MR センサ，磁界

Keywords : elderly people, home electric appliance, magnetic resistance sensor, magnetic field

1. はじめに

近年，我が国では高齢化が進行しており，2013 年の高齢者人口は過去最高の 3,190 万人にも上る。総人口に占める割合（高齢化率）は 25.1 % であり，2060 年には高齢化率が 39.9 % に達すると推計されている^(1,2)。一方で介護福祉士登録者数は 118 万人であり，高齢者に対する割合

は僅か 0.52 % である⁽³⁾。現在，高齢者世帯のうち 53.6 % を独居または夫婦のみの世帯が占めており⁽²⁾，彼らに十分に介護が行き届いていないことから，孤独死等の二次災害が問題となっている。

上記の問題に対して，カメラを用いて取得した画像から高齢者の行動や状態を把握するシステムが提案されている^(4,5)。しかしカメラを用いて監視することは，高齢者が不快に感じる可能性があり，プライバシーの観点からも望ましいものではない。このためカメラを用いずに高齢者の安否を確認する様々なシステムが提案されている⁽⁶⁻⁹⁾。また，企業においても開発・製品化されており，遠隔地の高齢者親族等に安否を知らせるサービスを提供している。例えば i ポット⁽¹⁰⁾は，電気ポットに稼働検知ユニットが内蔵されており，高齢者がこのポットを使用した際にその時刻を記録し，使用履歴を電子メールで高齢者親族等に発信する。しかし，このシステムで得られる情報は電気ポットの稼働状態のみであり，高齢者の安

* Corresponding author. E-mail: ktanaka@yamaguchi-u.ac.jp

a 山口大学大学院理工学研究科
〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1
Graduate school of Science and Engineering, Yamaguchi University

b 九州工業大学大学院工学府
〒804-0015 福岡県北九州市戸畑区仙水 1-1
Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology

c 宇部工業高等専門学校
〒755-8555 山口県宇部市常盤台 2-14-1
Ube National College of Technology
2-14-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi 755-8555

Fig. 1. Network for sending operating information of home electric appliances.

Fig. 2. Configuration of proposed system.

否を判断するには情報が不足している。

一方、カデモ^(11,12)は、複数の家電機器に用いることで上記システムよりも詳しく行動把握する。このシステムはコイルセンサで電源ケーブルを覆い囲むように設置し、電源ケーブルからの漏洩磁界を検出することで稼働検知を行っている。しかし、コイルセンサは電磁誘導を原理としており、センサ出力はセンサから回路までの距離に反比例することから電源ケーブルの径に合ったコイルセンサを用いる必要がある。径が適切でない場合、漏洩磁界を最大に得られないため適切に検知できないことが考えられる。また、電源ケーブルは壁際を這わせたり隙間を通したりすることが多いため小型なものが求められるが、コイルセンサを使用するため構造上大きくなり設置場所が限定される。この他にも、コイルセンサの径を超える電源ケーブルに設置できないという制限もある。

そこで我々はMR (Magnetic Resistance) センサを用いることで、漏洩磁界を最大に得られ、設置可能な電源ケーブルを制限せず小型である家電モニタリングシステムを提案する。本論文では、複数の家電機器を対象に検知率を調べ、モニタリング実験を行い、提案するシステムの有用性を確認した。

2. 家電モニタリングシステム

2.1 安否確認の方法

提案システムは、共著者である田中氏らが開発した独居高齢者用安否確認システム⁽¹³⁾の通報部である電灯線通信 (PLC : Power Line Communication) 装置および情報処理通信 (IPC : Information Processing Communication) 装置を用いて家電機器の稼働情報を発信する。これを踏まえて高齢者の安否確認は、Fig.1 に示すネットワークを

(a) Absence magnetic flux density

(b) Presence of magnetic flux density

Fig. 3. Structural drawing of MR-sensor.

構築し、以下の手順で行う。

はじめに、本システムを家電機器の電源ケーブルに設置する。設置は、電源ケーブルに両面粘着テープやマジックテープバンドで張り付ける。次に、家電機器の稼働を検知した場合、その時刻と家電機器の種類を、PLC 装置を通して本システムから IPC 装置へ伝送する。そして、これらの情報を無線パケット通信端末を用いてサービス提供者のサーバーへ転送し、高齢者親族等へ発信する。

家電機器の稼働情報を受け取った高齢者親族は次の四つの条件に該当しないかを見ることで高齢者の安否を判断する。一つでも該当するものがあれば高齢者が危険な状態にある可能性が高いと考える。ただし、危険な状態とは家庭内事故に遭っている、病床にある、自ら救助・救命を求められない等、通常の生活を送れていない状態であることを指す。

- (1) 家電機器が長時間稼働し続けている
- (2) 家電機器が長時間稼働していない
- (3) 外出等で家電機器が使用されるはずのない時間帯に稼働している
- (4) 炊事等、家電機器が使用されると予想される時間帯

Fig. 4. Algorithm for determining the home electric appliance is in operation or rest.

Fig. 5. Principle figure for deriving area of waveform.

に稼働していない

2.2 システム構成の概要

Fig.2 にシステム構成の概要を示す。家電機器が稼働した際に電源ケーブルから発生する磁界を MR センサが検出し電圧として出力する。この出力電圧は、検知回路で増幅および周波数フィルタリングを行った後、判定器に入力される。判定器にはマイコンを用いており、そこで出力電圧を計測し、家電機器の稼働判定を行う。2.3 節で各要素について詳細に述べる。

2.3 システム構成

(a) MR センサ

MR センサは歯車の回転数や回転速度の測定等に用いられており、他の磁気センサに比べ高感度といった特徴をもつ⁽¹⁴⁾。このセンサは半導体で構成され、磁気抵抗効果を利用した磁気センサであり、磁界を印加するとその電気抵抗が変化する。センサの大きさは $2.0 \times 3.0 \times 4.0$ mm と非常に小さく、一般的な電源ケーブル幅よりも小さいため、電源ケーブルを通すことができる隙間があれば設置が可能である。またその設置方法は、MR センサを電

Fig. 6. Installation of proposed system.

Fig. 7. Simulation of proposed system.

源ケーブルに密着させ固定するため、漏洩磁界を最大に得ることができる。

次に、センシング原理を説明する。MR センサの原理図を Fig.3 に示す。磁束（磁束密度 B ）が存在しないとき電流はセンサ内を直進する（Fig.3(a)）が、磁束が存在するときはローレンツ力により電流の経路が曲げられ（Fig.3(b)）、電路長が延びることから電気抵抗が増す。MR センサは電圧を印加することで電気抵抗の変化を電圧の変化として出力する。

以上の原理から、家電機器が稼働した際に電源ケーブル外周に発生した磁界を電圧に変換し出力する。

(b) 検知回路

検知回路は、オペアンプを用いた増幅器および周波数フィルタにより構成される。電源ケーブル周りの磁界は非常に小さいため、MR センサが出力する電圧の変化も微小となる。そこで、MR センサの出力電圧をオペアンプ増幅器で増幅する。次に、西日本の商用周波数が 60 Hz であるから、BPF (Band-Pass Filter) により周波数帯域を 60 Hz に限定する。

Table 1. Experiment results for detection ratio.

Appliance	Manufacturer	Model number	Power	Detection ratio
Induction cooker	Iris Ohyama,Inc	EIH-14	1400 W	100 %
			1000 W	100 %
			700 W	100 %
			400 W	100 %
Electric kettle	Tiger Corporation	PFV-G080	1300 W	100 %
Rice cooker	Zojirushi Corporation	NP-VC10	1105 W	100 %
Toaster oven	Zojirushi Corporation	ET-SW80	1000 W	100 %
			740 W	100 %
			500 W	100 %
			240 W	100 %
Electric heater	Yuasa Primus Co.,Ltd.	YA-D800L	800 W	100 %
			400 W	100 %
Electric pot	The Peacock Vacuum Bottle Co.,Ltd.	WME-F25	700 W	100 %
Micro wave oven	Sharp Corporation	RE-T1	700 W	100 %
Desktop PC	Unit.com Inc.	LD/7HP-P2533/G630502G	450 W	100 %
LC display	Mitsubishi Electric Corporation	7X120033BJ	53 W	100 %
Electric fan	Kashiba Japan Corporation	KJF-31T	38 W	100 %
Desk lamp	Twinbird Corporation	LK-H299	23 W	100 %

(c) 判定器

判定器には mbed (ARM 社製, LPC1768) を使用している。ここでは検知回路の出力電圧を逐一読み取り、積分法により波形面積を導出することで、その大きさを要素として家電機器の稼働を判定する。Fig.4 に家電機器の稼働判定アルゴリズムを示す。初期条件として家電機器の電源を OFF の状態にする。検知回路の出力電圧を n 回読み取り、平均をとることで Fig.5 に示す基準値 V_a を求める。次に、 V_a と出力電圧の瞬時値 V_i との差をとり、一周あたり N 回繰り返し足し合わせることで近似的に波形面積 S を導出する。そして一定時間ノイズレベルを測定し、S/N 比 (Signal to Noise ratio) α との積を閾値 S_{th} とする。波形面積の導出を常時繰り返し、波形面積が閾値を超えるとき家電機器が稼働していると判定する。

3. 実験結果

本システムの有用性を確認するため、検知率の測定およびフィールド試験を模したモニタリングを行った。ただし、2.3 節(c)で記した各パラメータは $n = 200, N = 100, \alpha = 1.2$ とし、MR センサは SONY 社製 DM-106B を使用した。

3.1 検知率評価実験

各家電機器に対して、本システムの検知率を調査する実験を行った。まず本システムを設置するため、家電機器の電源を OFF にし、Fig.6 のようにセンサ部を家電機器の電源ケーブルに設置した。システムの電源を投入後、ノイズレベルを測定するため 2 時間待機し、約 20 秒おき

に家電機器の電源の ON/OFF を繰り返した。全 11 種類 18 負荷に対して試行を 40 回行い、検知率を測定した。

実験に用いた家電機器の情報とその実験結果を Table1 に示す。全ての家電機器で検知率 100 % を得ており、家電機器の稼働検知に有効であることが確認できた。このため、次節に記すモニタリング実験により本システムの有用性の検証を行った。

3.2 モニタリング実験

本実験には Table1 に示す家電機器の内、IH 調理器、電子レンジ、デスクトップ PC および電気ヒーターを用いた。2014 年 11 月 23 日 15 時から同年 11 月 25 日 15 時までの 48 時間、成人男性一人を対象に、実験室にて一人暮らしを模したモニタリング実験を行った。前節の実験と同様にして本システムを各家電機器に設置し、Fig.7 に示すようにデータ収集用 PC と接続した。本システムが家電機器の稼働を検知すると、シリアル通信により PC に検知時間が送信され、そこで各家電機器の使用履歴を記録する。また、より適切な閾値を設定するため、ノイズレベルの測定は 24 時間行った。

モニタリングの結果を Fig.8 に示す。破線が実際に家電機器を使用した時間 (実稼働時間: T_a)、実線が本システムが取得した家電機器の稼働時間 (取得稼働時間: T_r) である。 T_r は T_a と同じ結果となり、本システムは家電機器の稼働を正しく検知していることが見て取れる。

Fig. 8. Monitoring results of each home electric appliances.

各家電機器の稼働から以下のことを判断することができる。調理用家電機器（電子レンジまたは IH 調理器）の稼働状況から普段 11 時頃と 21 時頃に食事をとっている。そして、デスクトップ PC から、主に日中は在室しており PC 作業を行っている。1 日目 18 時から 21 時の間、全家電機器が停止しており 21 時に各機器が稼働しているため、18 時から外出し 21 時に部屋に戻った後、炊事を行ったと考えられる。

次に、被験者の家電機器の使用状況がモニタリング結果と同じであると仮定し、2.1 節で記した条件による安否判断の方法を述べる。被験者は 23 時から翌 10 時までには家電機器を使用していないことから、この間に家電機器が稼働していれば条件(3)に該当すると考えられる。調理用家電機器においては、炊事が行われる時間帯に使用が限定される。被験者は 11 時と 21 時に炊事を行う傾向にあるため、調理用家電機器が 14 時、23 時まで稼働していなければ条件(4)に該当していると判断する。

4. まとめ

本論文では、家電機器の動作から高齢者の安否を確認する従来システムの改良として、MR センサを用いた家電モニタリングシステムを提案した。提案したシステムは、電源ケーブルにセンサを張り付けるため設置可能な

電源ケーブルを制限せず、センサ部が電源ケーブル幅より小さく狭所でも使用できるという特徴を持つ。また電源ケーブルからの漏洩磁界を最大に取得し検知を行う。

複数の家電機器を対象に検知率を測定した結果、実験に用いたすべての家電機器で検知率 100 % を得た。一方、モニタリング実験においては家電機器の実稼働時間 T_a と取得稼働時間 T_r が一致しており、家電機器の稼働を正しくモニタリングしていることが確認できた。また 3.2 節で述べたように、提案したシステムにより家電機器の稼働状況から高齢者の状態を把握することが可能である。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 24500670 の助成を受けたものである。

文 献

- (1) 総務省統計局：「人口推計」(2014)
- (2) 内閣府：「平成 26 年版高齢社会白書」(2014)
- (3) 厚生労働省：「介護福祉士の登録者数の推移」(2014)
- (4) 関弘和・堀洋一：「高齢者モニタリングのためのカメラ画像を用いた異常動作検出」, 電学論 D, Vol.122, No.2, pp.182-188, 2002
- (5) 土居元紀・井上博司・青木優太郎・大城理：「人物追跡と転倒検知による独居高齢者遠隔見守りシステム」, 電学論 E, Vol.126, No.8, pp.457-463, 2006

- (6) 大藪多可志・広林茂樹・木村春彦：「複数の酸化スズ系ガスセンサによる独居老人世帯モニタリング」, 電学論 D, Vol.117, No.6, pp.314-320, 1997
- (7) 近藤修平：「センサシステムによる独居高齢者安否確認システム」, 電学論 C, Vol.131, No.7, pp.1293-1297, 2011
- (8) 大田恭平・大津貢・太田勇輝・梶原昭博：「超広帯域無線による高齢者の状態監視センサ」, 電学論 C, Vol.131, No.9, pp.1547-1552, 2011
- (9) K. Tanaka, K. Haruyama and Y. Yamada：「Safety Confirmation System Using Mat-Sensor and Power Line Communications for Elderly Person」, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.19, No.6, pp.676-682, 2007
- (10) 特許 78034A, 象印マホービン株式会社：「生活モニターシステム」, 2002
- (11) 特許 86393A, 周南マリコム株式会社：「生活状況モニタリングシステム」, 2004
- (12) 特許 56423A, 周南マリコム株式会社：「高齢者見守りシステム」, 2014
- (13) 田中幹也・内堀晃彦・春山和男・西村悠・樹内門・Faridah Abd Rahman：「超音波レーダを用いた独居高齢者用安否確認システム」, 電学論 D, Vol.131, No.2, pp.202-207, 2011
- (14) 松本光功・栄岩哲二・井上弘康・田中静治：「MR素子のクランプ式電流計への応用」, 日本応用磁気学会誌, Vol.15, No.2, pp.461-464, 1991

富本 悠公

2015 年 3 月山口大学大学院理工学研究科電子情報システム工学専攻修了。同年 4 月同大学大学院理工学研究科情報・デザイン工学系専攻入学, 現在に至る。介護補助機器の研究に従事。

三浦 圭介

2014 年 3 月宇部工業高等専門学校専攻科生産システム工学専攻修了。同年 4 月九州工業大学大学院工学府電気電子工学専攻電気エネルギーコース入学, 現在に至る。電力計測・解析の研究に従事。

春山 和男

2007 年 9 月山口大学大学院理工学研究科システム工学専攻博士後期課程単位取得退学。1994 年宇部工業高等専門学校電気工学科助手。現在, 同准教授。医療補助機器の開発に従事。

日高 良和

1985 年 3 月九州工業大学大学院工学研究科電気工学専攻修了, 1985 年日本電気株式会社入社, 1995 年山口大学大学院工学研究科博士後期課程システム工学専攻単位取得退学。1989 年宇部工業高等専門学校電気工学科助手。現在, 同教授。マン・マシンインターフェースの研究に従事。

中島 翔太

2010 年 3 月九州工業大学大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了。同年 4 月宇部工業高等専門学校電気工学科助教。2012 年 7 月山口大学大学院理工学研究科助教。現在, 同講師。画像処理, 知的センシングの研究に従事。

田中 幹也

1982 年 3 月防衛大学校理工学研究科修了, 同校研究員。1990 年広島電機大学工学部助教授。1992 年愛媛大学工学部助教授。1998 年山口大学工学部電気電子工学科教授。2006 年同大学大学院理工学研究科教授, 現在に至る。適応・知的制御を中心とした制御理論およびその応用研究に従事。