

高齢者見守りネットワークに用いる宅内センサ・エージェントの機能と設計

Function and Design of In-home Sensor Agent used in The Elderly Monitoring Network

○ 和崎 克己（信州大） 新村 正明（信州大） 下井 信浩（秋田県立大）

Katsumi WASAKI, Shinshu University
Masaaki NIIMURA, Shinshu University
Nobuhiro SHIMOI, Akita Prefectural University

Abstract: This paper presents the capital of design and implementation of In-home sensor agent MaMoRu-Kun, developed in the project “Research and development of the regional/solitary elderly life support system using multi-fusion sensors”. In Akita Prefectural University, the bed/pillow sensors and its monitoring system have been developed for the purpose of watching bedtime of the separate elderly living. This sensor agent, MaMoRu-Kun, is connected to the in-home wireless network of the target people’s accommodation and collects the trigger information from various switches, motion detection sensors, and remote controller. This smart device also has a function of sending the entire data along with the status of the sensor to collection/monitoring server connected with LTE router. This agent is implemented by using the Arduino and Bluetooth-connected Android terminal.

Key Words: Aged Society Design, Welfare Device, Information Support, Multi-fusion Sensor, Anomaly Analysis

1. はじめに

1.1 背景・見守りネットワークの必要性

誰もが安心して住み続けることができる地域社会を実現するために、高齢者等の見守りネットワークの構築が急務となっており、様々な研究開発が行われている^(1, 2, 3, 4)。見守り活動で最も重要な点は、対象者の異変に対して早期に気付くこと、そして専門機関への接続と適切な対応である。しかし、独居高齢者の場合、外的観測（昼間に玄関灯が点きっぱなしになっている、新聞受けに新聞が溜まっている、定期的な集会に顔を出さなくなる、等）のみによって、対象者の異変に素早く気づくことは困難な状況にある⁽⁵⁾。従って、心理的障壁を軽減しつつ、昼夜間を通じた宅内での様子を高い精度で観測できる仕組みの構築が必要である。

夜間における対象者の振る舞い・就寝状況の観測という点に関して、秋田県立大・下井らは、ベッド・枕に荷重・加速度センサを取り付けたスマートベッドモニタリングシステムに関する先行研究を行っている⁽⁶⁾。モニタリング結果は新規に開発した離床予測学習機構によって、対象者の就寝状況をリアルタイムに把握することが可能である⁽⁷⁾。しかし、本モニタリングシステムは介護施設等に固定的に設置され、管理人が同じ建物内で目視によって監視することを前提としているため、対象宅内から離れた遠隔地から観測できない。ベッド上に対象者が居ない昼間時は、行動観測が全く出来ない。

平時の在宅・外出の状況、家電や宅内設備の操作・使用状況などを観測することは、対象者の異変への気付きという観点から有意である。独居高齢者は無職で自宅に居る時間が多く、毎日の生活パターンが同じで、かつ外部とのコミュニケーションも変化が少ない。具体的には、(1) 毎週金曜日の午後はサークル活動に出かける、(2) 朝6時頃には起床し、夜10時頃には就寝する、(3) 夜6時からは大体テレビを観ている、(4) 朝昼晩は概ね自宅で食事を作るため冷蔵庫の開け閉めがある、等の生活パターンが固定になる、という点が特徴的である。

1.2 研究・開発の目的と概要

生活パターンや周期イベントに起因するトリガーを、宅内に配備したセンサで心理的障壁の軽減に配慮かつ非侵襲に収集し、プライバシーを確保した状態で、対象者の異変に対する早期の気付きを実現することが、本研究の目的である。この目的のため、対象

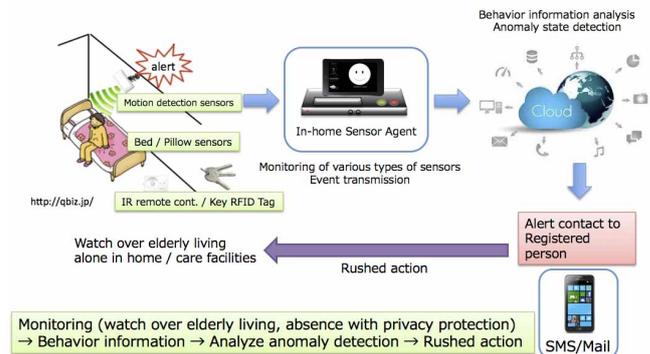


Fig.1 Overview of The Elderly Monitoring Network using Multi-fusion Sensors and In-home Agent

者の宅内イベント・トリガーを収集するセンサ・エージェントを設置し、平時の生活パターンを学習させ、そのパターンから大幅に外れる異変（アノマリ状態）があった場合に素早く検知し、見守りネットワーク上の駆けつけ担当者へ即時通報する「地域型独居高齢者生活サポートシステム」を提案した（Fig.1）。

概要は以下の通りである。まず、見守りネットワーク全体として必要な要求分析と、ベッドモニタ・枕センサとの連携について検討を行った。全体の要求分析結果に基づき、宅内センサが具備すべき機能について検討を行った。次に、組み込みシステムとして実現する宅内エージェント MaMoRu-Kun についてハードウェア・ソフトウェアの仕様について検討した。各種複合センサ系との接続とトリガー収集・加工を実現するためのハードウェア・ソフトウェアの設計を行った。LTE 広域無線でインターネット接続された、全データ収集サーバへの送出プロトコルならびにフォーマットについて仕様を検討した。更に、平時のモニタリング結果の解析結果の可視化や、異常時の駆け付け通報の方式についても検討した。

2. 要求分析，ベッドモニタ・枕センサとの連携

2.1 見守りネットワークの要求分析

上述の通り、見守り活動で最も重要な点は、対象者の異変に対して可能な限り早く気付くことである。外的観測・宅内状況の観測を総合し、駆け付け対応のしきい値を決定しなければなら

い、可観測点と項目を増やすことで高精度の情報収集と判定が可能となるが、その一方で心理的障壁の高まりや監視ストレス、対象者の生体へ侵襲する恐れがある。

このような制限があるため、先ず最初に見守りネットワークの観測項目と、実現可能な駆け付け行動に関する要求分析を行った。

[A] 観測項目：対象者の以下の行動・状況について観測できること。ただし、対象者と機器とは完全に非侵襲的であること：(A1) 就寝・起床の別，(A2) 在宅・外出の別，(A3) テレビ・エアコンなどの操作・使用状況，(A4) 宅内で移動している頻度，(A5) 寝たきり状態で無いことの確認，(A6) 緊急通報の有無。

[B] 駆け付け行動項目：対象者の平時の生活パターンと比較し、現在の状態が正常範囲内か、大幅に外れているか（異常状態）のしきい値を決定し、検知できること：(B1) 平時のデータ収集と学習，(B2) アラート発報が可能であること，(B3) 駆け付け対応者（親戚，民生委員，行政職員，高齢者対応住宅の管理人）への自動通報，(B4) 対象者からの緊急通報時の即時アラート発報，(B5) 駆け付け行動の優先度，(B6) 匿名化した状態での収集データのビッグデータとしての活用。

2.2 ベッドモニタ・枕センサとの連携

秋田県立大・下井らは、独居高齢者の就寝時見守りを目的としたベッドモニタ・枕センサの研究開発を実施している⁽⁶⁾。これは、ベッド寝床上面にピエゾ荷重センサを用い、対象者の就寝時の状況（寝返り等）ならびに起床時の体勢変化を検出するものである。これに加えて、ウレタン枕内部に3軸加速度計を設置し、対象者の就寝時の状況を更に複合的に観測しようという試みも行っている⁽⁷⁾。各々の観測データは、ZigBee 無線シリアル回線経由でモニタ端末まで伝送され、荷重センサ・加速度センサの値をリアルタイムに直接取得・保存することが出来る。試作したモニタリング・ソフトウェアによって、各センサのリアルタイムグラフ表示を得ることが出来る。

本モニタリングシステムは介護施設等に固定的に設置され、管理人が同じ建物内で目視によって監視することを前提としている。対象者の寝室から ZigBee 受信親機までの電波到達距離は、概ね宅内に限定される。そのため対象宅内の外部や、離れた遠隔地から観測データを得ることができない。

技術的には、個々の対象者の観測データを WiFi 無線 LAN や LTE 広域無線ネットワークを用いて直接遠隔地のサーバへ集約することは容易である。しかし、対象者の心理的障壁ならびにプライバシー保護の点から、就寝時のリアルタイムな挙動を遠隔地へ直接送信・保存することは避けなければならない。他方、緊急通報をベッド周りのデバイス（枕センサ）の機能を使って行うことは、リアルタイム性が重視される。

これらの状況と、前述の要求分析 [A] 観測項目 の要件から、本見守りネットワークにおいて宅内設置されたベッドモニタ・枕センサとの連携方式については、以下の仕様を検討した：(1) ベッドセンサ・枕センサの観測データはリアルタイム送信・伝送しない、(2) 宅内設置のセンサ・エージェントで観測データを受信・前処理を実施し、現在の就寝中・起床前・離床後の状況について判定する（要件 A1 に対応）、(3) ベッド上に平時より長時間居る場合には寝たきり状態判定する（要件 A5 に対応）、(4) 就寝時、急な発病など緊急を要する場合、対象者自身が枕を激しく振る（“枕シェイク”と呼ぶ）ことで、緊急通報を即時行う（要件 A6 に対応）。

3. 宅内センサ・エージェントの機能と仕様

宅内センサ・エージェント MaMoRu-Kun⁽⁸⁾ について説明する。このエージェント・ロボットは、見守り対象者の宅内に設置する、

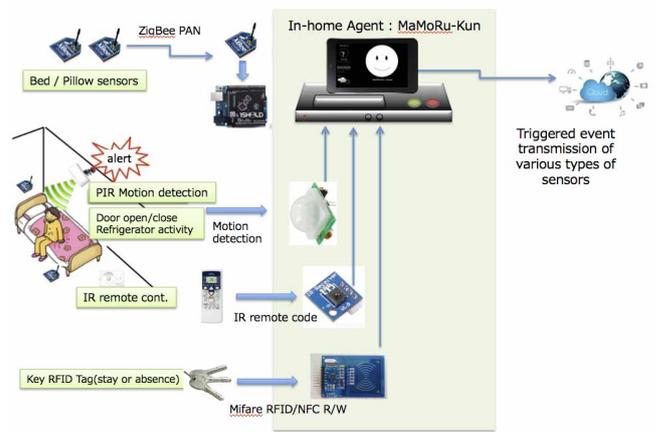


Fig.2 Multi-fusion Sensors and Detection Function using In-home Agent

各種複合センサと連携して動作する通信機能付き組み込みシステムである。

3.1 機能

機能として、各種複合センサ（物理スイッチ、赤外線動体センサ、リモコンセンサ、RFID 鍵タグセンサ⁽⁹⁾）と、上述のベッドセンサ・枕センサからのトリガー情報を検知する。検知したトリガー情報は、宅内に別途設置するローカルサーバへ送信し、平時の生活パターンを学習・蓄積する（Fig.2）。

上述のベッド周りのセンサだけでは、ベッド上に対象者が居ない昼間時は、行動観測が全く出来ないため、赤外線利用の動体検知センサ・家電リモコンセンサなどを複合的に使用し、昼間における行動パターン（ドア開け閉め、冷蔵庫や家電の使用頻度）を観測可能とする。また、RFID 鍵タグがエージェントに接続されたタグ・インターフェースで見つかった場合、在宅と判断する。一定時間鍵タグが見つからなかった場合、自動で外出と判断する。

就寝時、急な発病など緊急を要する場合、対象者自身が枕を激しく振る（“枕シェイク”）ことで、枕センサからの緊急通報トリガーと連携し、緊急通報を即時行う。

見守りネットワーク全体の機能として、外部ネットワーク上の全データ収集・監視サーバへ、平時の生活パターンデータと、緊急通報アラートを送出する機能を有する。

以上の機能を有することで、見守りネットワークの要求分析 [A] 観測項目 の要件 (A2)(A3)(A4) に対応可能である。また、宅内サーバと組み合わせると [B] 駆け付け行動項目 の要件 (B1)(B2) に対応可能である。更に、緊急通報メッセージ送信機能によって、要件 (B4) に対応可能である。

3.2 仕様

システムは (1) ベースステーション（新規）、(2) 通信用 Android 端末（既存）、(3) 宅内データ収集サーバ（新規）、および (4) LTE 無線ルータ（既存）から構成される（以下、仕様 (3)(4) については紙面の都合で省略）。

3.2.1 ベースステーション

外観：Fig.3 に準ずる。形状：筐体フットプリントは A4 版大で、上天面には Android 端末が設置できること。仕様：(1-1) 物理的な操作スイッチを 2 個以上備えること。(1-2) PIR 赤外線動体センサを 1 個以上備えること。検知範囲は概ね 8 畳間程度であること。(1-3) 家電リモコンの赤外線データ受信モジュールを備えること。(1-4) Mifare 規格の RFID タグ用リーダを備えること。RFID の受信部分は上天面で非接触であること。(1-5) 各種スイッチ・センサの動作状況をモニタする LED を 1 個以上備えること。(1-6) 供給電源は DC7-12V で、AC アダプタからの給電が可能であること。(1-7) 消費電力は 5W 以下であること。

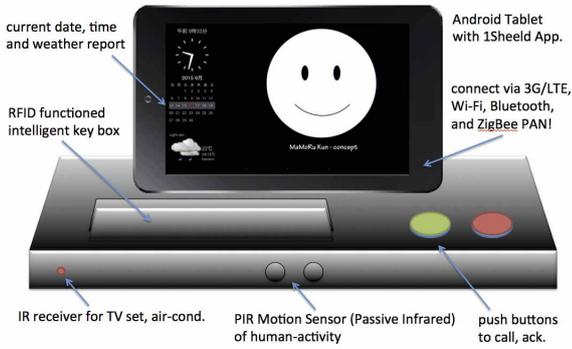


Fig.3 In-home Agent MaMoRu-Kun base-station : Appearance concepts

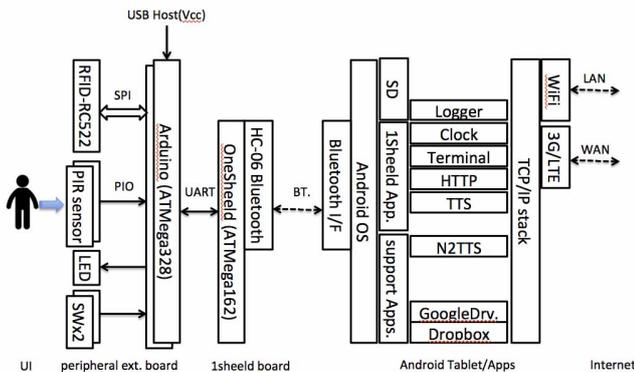


Fig.4 In-home Agent MaMoRu-Kun base-station : Functional Block Diagram

と。(1-8) 筐体はファンレス構造であること (1-9) 筐体背面に電源端子，USB 端子（ファームウェア書き換え用）を備えること。(1-10) Android 端末と Bluetooth 接続可能で，各センサからのトリガー情報を HTTP プロトコルで POST 送出できること。

3.2.2 通信用 Android 端末

外観: Fig.3 に準ずる。形状: 端末フットプリントは A5 版大で，画面サイズは 7-8 インチであること。仕様: (2-1) Android 5.0 Lollipop 以上のバージョンであること。(2-2) WiFi, Bluetooth 通信機能を有すること。(2-3) Text-to-Speech 音声合成機能が別途導入するアプリ (N2TTS) によって利用できること。(2-4) 自作 apk 導入のため管理者デバッグモードが可能なこと。(2-5) 無操作時の画面スリープ機能が解除できること。(2-6) 供給電源は DC5V で，AC アダプタからの給電が可能であること。

4. 宅内センサ・エージェントの設計と実装

本エージェントは，各種物理スイッチ・センサで構成された周辺ハードウェア，組込みマイクロプロセッサとして Arduino⁽¹⁰⁾ とファームウェア，Bluetooth 接続インターフェイス 1Sheeld⁽¹¹⁾，ならびに Android 端末に導入される多目的接続アプリ 1Sheeld App と，Text-to-Speech 音声合成アプリ N2TTS の上で設計・実装された。ベースステーションの各機能モジュール (HW/SW) の構成を，Fig.4 に示す。

4.1 ハードウェア設計・実装

(H1) peripheral ext. board 上に物理 SW を 2 個，PIR 動体センサ，RFID-RC522 タグモジュール，赤外線リモコン受信モジュール，動作確認 LED を各 1 個配備する。これらは SPI/PIO インターフェイス経由で Arduino (ATMega328) マイクロプロセッサへ接続される。(H2) トリガー情報をプロセッサ上のファームウェア (後述) で処理した後，UART シリア

ル経由で Bluetooth 接続インターフェイス 1Sheeld へ転送する。(H3) 転送されたセンサのトリガー情報は，Bluetooth ペアリング相手先の Android 端末へ転送される。Android 端末の HTTP/TCP/IP スタックを経由して，ネットワークへ送出される設計とした。

4.2 ソフトウェア設計・実装

(S1) Arduino プロセッサ上のファームウェアは新規設計・実装した。ファームウェアでは各種センサからの High/Low レベル検知によるエッジトリガー，ならびに RFID タグモジュールの初期化とタグ検知・離れ判定を実施する，複数の状態遷移機械 (FSM) によって設計された。物理 SW 2 個は左右で各々「手で留守モード」「手で在宅モード」を送信する。PIR 動体センサは近づき・離れの累積カウントを行い，カウント値はセンサ離れトリガー時に送信する。RFID タグモジュールは，鍵 (束) へ付与された Mifare タグの近づき・離れの検知を行い，一定時間以上の状態継続後，各々「自動で在宅モード」「自動で留守モード」を送信する。赤外線リモコン受信データは，メーカーコードとデータ部 32bit 分をエンコードした結果をデータ送信する。動作確認 LED は，物理 SW 押下げ時・PIR センサ近づき検知時・RFID タグの近づき検知時に，それぞれ点滅を行う。(S2) Android 端末上に導入される多目的接続アプリ 1Sheeld App によって，Arduino ファームウェアから送信されたトリガー情報を受信した後，ベースステーションとしての機能別 (Logger, Clock, Terminal, HTTP, TTS) に処理を実行する。(S3) トリガー情報は，HTTP/TCP/IP スタック経由で，WiFi 回線によってネットワーク上へ送出される実装とした。手動・自動で在宅・留守モードへ移行した際，対象者へのフィードバックのため Text-to-Speech 音声合成アプリ N2TTS によって発声する実装とした。

4.3 試作・試験

上述の仕様・設計に基づく試作機を制作した。制作した試験機はブレッドボードモデルから量産型モデルまで全 5 台 (2016 年 6 月 22 日現在) である。制作費用については，新規開発したベースステーションで 1 万円弱，Android 端末・LTE ルータ・宅内サーバは民生品を購入し 9 万円，合計 10 万円前後 (1 セットあたり) のコストが掛かった。ハードウェアとファームウェアの開発期間はこの約 40 人・日，ファームウェアの LOC は 500 行弱という規模であった。

試験機の実際のデータ収集能力について評価するため，量産型モデルを小規模実証モデルルーム (信州大学工学部) へ設置した。試験機のモデルルーム (対象者宅内のリビング・寝室を再現したもの) への設置状況について，Fig.5 に示す。モデルルームには，折り畳み式簡易ベッド，赤外線リモコンで操作可能なテレビ，ならびに各種什器 (冷蔵庫・電気ポット・机・椅子・電話器) が配備される。

制作した試験機 (ブレッドボードモデルから量産型モデル) 全ての連続稼働試験は 2016 年 5 月 18 日から開始し，現在に至るまで各種センサからのトリガー情報の収集動作は正常に稼働している。途中，RFID タグモジュールの鍵待受け部分のライブラリ・関数がノイズ等の影響でスタック (異常停止) する不具合が発生したが，ファームウェアのループ処理部分で Watch Dog Timer (WDT) を挿入し監視することで，ファームウェア動作がスタックした場合に自動的に復旧する工夫を行った。

5. 複合センサ・トリガー情報の収集と分析

宅内センサ・エージェントから送信され，宅内サーバで収集・蓄積されるトリガー情報の種類は以下の通りである。なお，括弧 () 内の凡例は，具体的な送信データのサンプルである。

- (1) 物理 SW 2 個の押下げトリガー (SW1, SW2 = ON).
- (2) PIR 動体センサの累積カウント値 (PIR = 1234).
- (3) Mifare

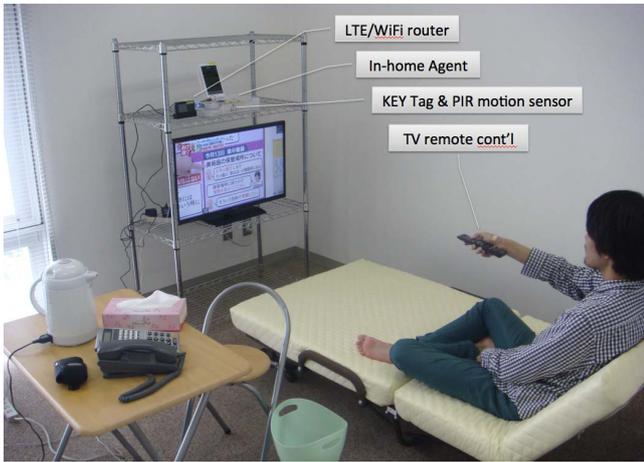


Fig.5 An Installation Situation to Demonstrate Model Room

RFID タグの近づき・離れのエッジトリガー (KEY = ON/OFF) (4) 赤外線リモコンの受信データ (RMO = 03:77E1C086).

これらの POST データと併せて、URL 引数でエージェント機器 ID (ID=1004)、ファームウェアバージョン (VER=20160601a)、および起動累積回数 (BOOT=38) も送信する。宅内サーバに実装されたデータベースへ、これらの送信データを insert し蓄積する。宅内センサ・エージェントから宅内サーバへの伝送プロトコルは HTTP、規格は POST Method で実施した。宅内での通信であるため現在はデータの暗号化等を行っていないが、将来はセキュア通信路 (SSL) を用いた接続も予定している。

機器別可視化の試行を行った。可視化エンジンとして D3.js⁽¹²⁾ を用いた。同一機器 ID、日別の各種トリガー情報の可視化表示例を、Fig.6 に示す。この表示例は、ある ID を有する宅内エージェントの 2016 年 6 月 6 日から 6 月 10 日までの 5 日間について、6 時から 20 時までの時間帯におけるトリガー情報 (SW1, SW2, KEY, PIR, RMO) をプロットしたものである。PIR 動体センサが連続的に検知されているライン上の時間帯は、対象者が宅内に居てテレビを観ているか移動しているなど、実際に「在宅」していることが判断できる。また RMO 赤外線リモコンが受信している箇所は、テレビの ON/OFF やチャンネル変更など行っているため、対象者はその意味で「健全」であることが判断できる。KEY, SW トリガーが全く無くなり、かつ PIR, RMO トリガーも無くなった時間が長時間連続した日が 2 日あるが、これは「留守・外出中」であることが判断できる。

6. まとめと今後の課題

高齢者等見守りネットワークを目的とした「複合センサを用いた地域型独居高齢者生活サポートシステムの研究開発」で制作中の、宅内センサ・エージェント MaMoRu-Kun について説明した。全体の要求分析結果に基づき、宅内センサが具備すべき機能について検討を行った。組込みシステムとして実現する宅内エージェントについてハードウェア・ソフトウェアの仕様について検討した。各種複合センサ系との接続とトリガー収集・加工を実現するためのハードウェア・ソフトウェアの設計を行った。更に、平時のモニタリング結果の解析結果の可視化や、異常時の駆け付け通報の方式について検討した。

本提案方式・システム構成の優位性を評価するため、今後は小規模な実証実験として、宅内リビング・寝室を再現した収集サイトを設置・構成し、実測データを得る。具体的には、本研究で試作したセンサ・エージェントを実際に長期間稼働させ、各種スイッチや動体検知センサ、リモコン等のトリガー情報を収集し、ベッドセンサの状況と共に LTE ルータで接続された全データ取

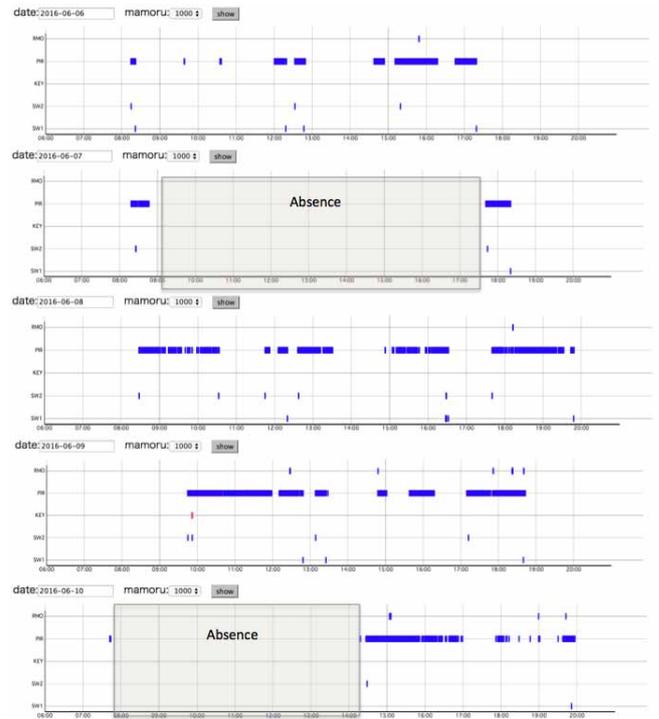


Fig.6 A Trial Example of Device-specific Visualization : From June 6, 2016 until June 10 (device ID = 1000)

集・監視サーバへ送出するロードテストを実施する。また、要求分析 [B] 駆け付け対応 の要件である、(B2) から (B6) までの実現に向けて、アナマリ状態検知時のシステム動作について検討・試作していく。

謝辞

本研究は、総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 152302001 によって実施された。秋田県立大学 間所洋和氏、中正和久氏には、本研究の実施において数々の支援を頂いた。

参考文献

- (1) 小川充洋, 田村俊世, 戸川達男: “在宅健康モニタリングのための生体パラメータの自動計測システム: 1ヶ月連続測定実験”: 信学技法 (MBE), 98(95), 23-28 (1998)
- (2) 田村俊世, 小川充洋, 依田美紀子, 戸川達男: “在宅での健康モニタリングのための完全自動計測法の開発とその評価”, 電学論 (C), 118(7), 993-998 (1998)
- (3) 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), 112(2), 182-188 (2002)
- (4) 国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) ロボット介護機器開発・導入促進事業 <http://robotcare.jp/>
- (5) “高齢者等の見守りガイドブック (第2版) 誰もが安心して住み続けることができる地域社会を実現するために”, 東京都福祉保健局 (2016)
- (6) 下井信浩, 間所洋和: “3軸加速度計とピエゾ荷重センサを用いたベッドモニタリングシステムに関する研究”, 計測自動制御学会論文集, 49(12), 1092-1100 (2013)
- (7) 間所洋和, 下井信浩, 佐藤和人: “非拘束性と QOL を考慮した離床予測センサシステムの開発”, 信学論, J96-D(12), 3055-3067 (2013)
- (8) 和崎克己, 新村正明, 下井信浩: “高齢者見守りネットワークに用いる宅内センサ・エージェントの設計と実装: 総務省 SCOPE 地域 ICT 振興型研究開発”, FIT2016 第 15 回情報科学技術フォーラム, 4K-2 (2016)
- (9) MIFARE: ISO/IEC 14443 Type A 13.56 MHz contactless smart card standard. <http://www.mifare.net/>
- (10) Arduino: An open-source prototyping platform for embedded systems. <http://www.arduino.cc/>
- (11) 1Sheeld: An Arduino multi-purpose shield with smartphone. <http://1sheeld.com/>
- (12) D3: Data-Driven Documents. <http://d3js.org/>