

映像 IoT 技術による赤ちゃん見守りシステム

村田健史¹ 深沢圭一郎¹ 徳永旭将² 水原隆道³
野見山陸² Somnuk Phon-Amnuaisuk⁴

概要: 赤ちゃんのうつぶせ寝による窒息死や乳幼児突然死症候群 (SIDS) などは社会問題の一つとなっている。ベビーベッドや保育所において特に睡眠中を中心とした赤ちゃんの見守りについては多くの研究開発や商品事例があるが、突然死数が飛躍的に低下しているわけではない。本研究開発では、2016年にIyerらが提唱した映像IoT技術を赤ちゃん見守りに適用することを試みる。筆者らが開発したHpVT (High-performance Video Transmission) プロトコルはモバイル通信やWiFi等の無線通信環境において映像フレームのリアルタイム到達性を担保することを目的とした通信プロトコルであり、映像IoTの実現に適している。HpVTアプリケーションは映像IoTシステムのための通信環境を提供するアプリケーションフレームワークである。本研究ではHpVTアプリケーションを用いてベビーベッド等に取り付けた映像を遠隔地に配信し、どこからでも赤ちゃんの様子を見守るためのシステムを開発した。システムでは安価なIPカメラをベビーベッドに設置し、送信側および受信側にRaspberry Piを用いる。HpVTプロトコルは送信側でH.264フレームをエンコードし、受信側でデコード映像をリアルタイムモニタリングする。同時に、送信側で一定の時間間隔でリアルタイムに作成される静止画像および動画はインターネット上のWebサーバに転送され、ユーザからはスマートフォンやPC等で遠隔地でモニタリング可能なシステムである。

キーワード: 映像IoT, 赤ちゃん見守り, HpVT (High-performance Video Transmission) プロトコル

A remote baby watching system via visual IoT technique

KEN T. MURATA^{†1} KEIICHIRO FUKAZAWA^{†1} TERUMASA TOKUNAGA^{†2}
TAKAMICHI MIZUHARA^{†3} RIKU NOMIYAMA^{†2}
SOMNUK PHON-AMNUAISUK^{†4}

Abstract: Visual Internet of Things (IoT) is a class of IoT that collects rich visual data over the Internet. In general, the visual IoT device is equipped with video transmission equipment such as a mobile camera. Both advanced video transmission techniques and information extraction from images by image recognition techniques are key techniques for the visual IoT. However, since the video data size is larger than the sensor data size in general, one of the issues of visual IoT is high-performance video transmission in networks in which the bandwidths are limited. In this paper, we design a real-time video transmission system using visual IoT device. Our system is based on a novel protocol, named high-performance video transmission (HpVT), for field monitoring via 4G LTE mobile networks. Our implementation of the system is based on raspberry Pi boards, which are single-board computers with ARM processor. We have already evaluated the performance of HpVT in real fields to conclude that we can achieve full high-definition (full HD) resolution video transmission with as high frame rate as 30 fps even from a vehicle moving on a highway using 4G/LTE networks. In this paper we introduce a system to monitor baby in the beds remotely via visual IoT techniques. We installed an IP camera at the bed side of a baby that is connected to the raspberry Pi with home WiFi network, then transmitted frames of the baby is monitored at an office out of the house. Our baby watch works nicely, in which the quality of acquired image frames are enough to find if the baby moves with her face up. Moreover several issues for general and ordinary uses are also clarified; more than half of the image frames are without the baby, even a part of her body is out of the frame. It suggests that we need a real-time image processing technique to judge if a baby is in the bed to show up in the image frames.

Keywords: visual IoT, baby monitoring, HpVT (High-performance Video Transmission) protocol

1. はじめに

情報通信技術の急速な成長により、実空間（物理空間）での大量の情報・データが様々なセンサーによって生成され、サイバー空間（クラウドシステムなど）に蓄積されている。モノのインターネット (IoT: Internet of Things) は、IoTセンサー群をインターネットに接続することによりセンサーにより取得される実空間現象をサイバー空間上に再現する

概念である。Iyerらにより2016年に提唱された映像IoTはIoTのクラスの一つである[1]。一般的なIoT型のセンサーと異なり、映像IoTではイメージセンサーまたはビデオセンサーをIoTセンサーと位置付ける。すなわち、映像IoTデバイスにモバイルカメラなどのビデオ伝送機器を装備し、これをインターネット接続することで映像IoTセンサーとする。図1に示す通り様々な環境に映像IoTセンサーを配備することで、社会インフラや公共設備の監視、防災・減

¹ 京都大学
Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan
² 九州工業大学大学院情報工学研究棟
Kyushu Institute of Technology, 680-4 Kawazu, Iizuka-shi, Fukuoka,
820-8502, Japan
³ (株)クレアリンクテクノロジー

CLEALINKTECHNOLOGY Co., Ltd., 1-7 Hikaridai Seika-cho, Soraku-gun,
Kyoto 619-0237, Japan
⁴ ブルネイ工科大学
Universiti Teknologi Brunei, Gadong, Brunei

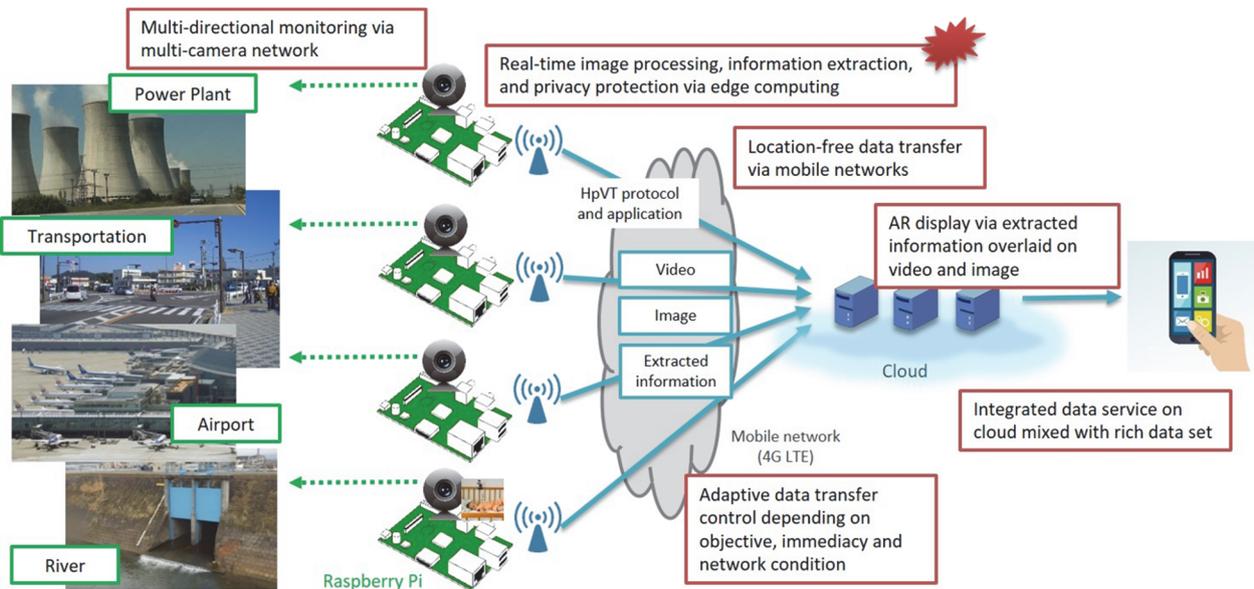


図 1 映像 IoT コンセプト[1, 3]
Figure 1 The concept of visual IoT[1, 3].

災への取り組みなどが可能となる[2].

映像 IoT では、映像データの広帯域幅の確保やエッジ側でのコンピューティングと通信のトレードオフなど、様々な技術課題に対処する必要がある。Iyer らは特に (1) 高品質なビデオ伝送と (2) 画像処理や画像認識技術による画像からの情報抽出の 2 点を指摘している。筆者らが開発した HpVT プロトコルおよびそれを用いた HpVT アプリケーションは、図 2 に示す通りこれら 2 点を解決するために開発した映像伝送用の技術である。

HpVT プロトコルは、近年の Web カメラ等で用いられている HTTP 伝送の欠点を補うために設計した映像伝送プロトコルである[2, 3]。パケットロスやジッタなど環境変動に弱い TCP ベースの HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) や HTTPS と異なり、と異なり、UDP ベースの独自プロトコル HpVT は動画像のフレーム送出手をできるだけ平滑化し、不要なバッファリングを行わないことで、映像のストリームをスムーズに再生することに特化した。ネットワーク環境の変化により帯域品質が低下した場合には優先フレームのみを送出することで画質よりも映像のリアルタイム性を重視している。HpVT プロトコルは、特に 4G/LTE 等のモバイル通信網においてその性能を発揮する。

HpVT アプリケーションは HpVT プロトコルの性能を有効活用し、同時にユーザーが独自に画像処理プログラムを構築することができる環境を提供する。図 2 に示す通り、送信側 (エッジ側) では OpenCV 環境を用意してあり、取得動画像フレームをリアルタイム処理することができる。例えば、動画像フレームから任意のフレームを静止画像として抽出することや、一定間隔の動画像ファイルを抽出することが可能である。その例として、これまでの筆者らのオ

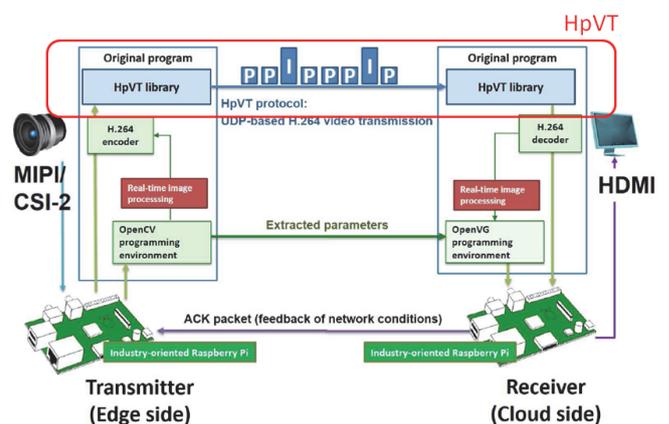


図 2 HpVT プロトコルおよびアプリケーション概要[3]
Figure 2 A schematic picture of HpVT protocol and HpVT application[3].



図 3 受信側画像の OpenVG による情報オーバーレイ事例
Figure 3 An example of AR on receiver side.

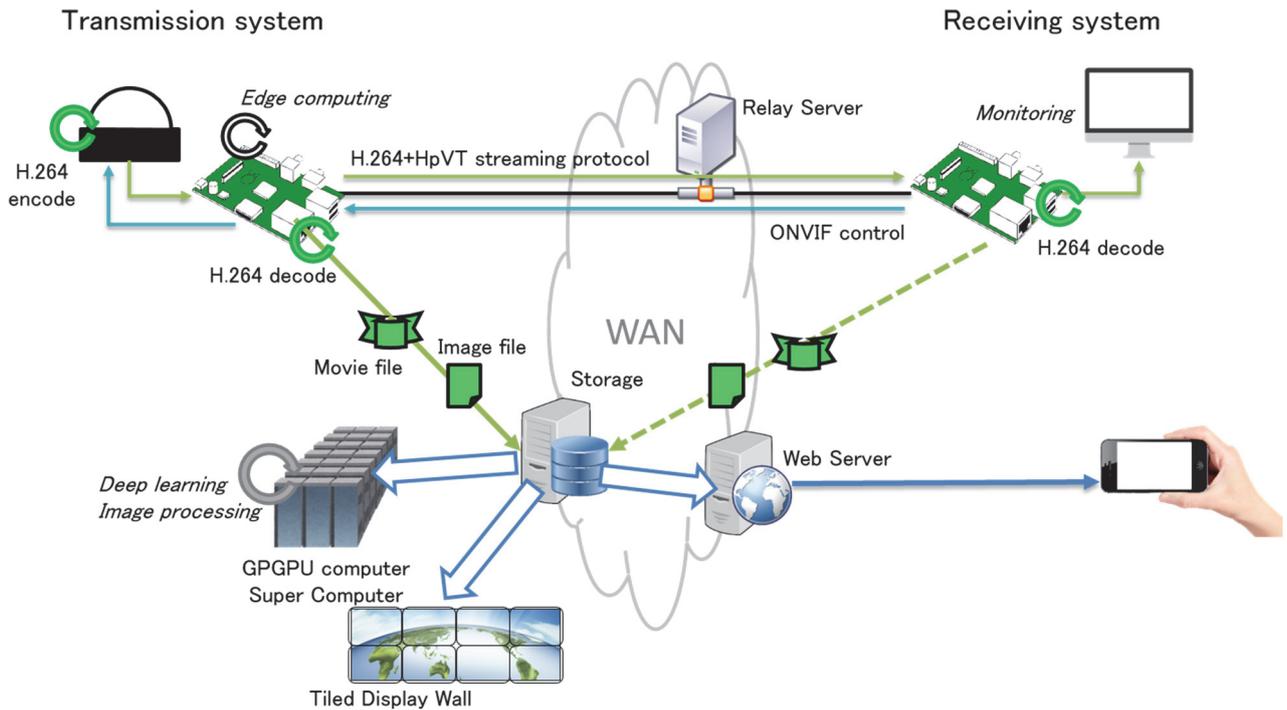


図 4 映像 IoT 通信システム概要図
Figure 4 A schematic picture of visual IoT system.

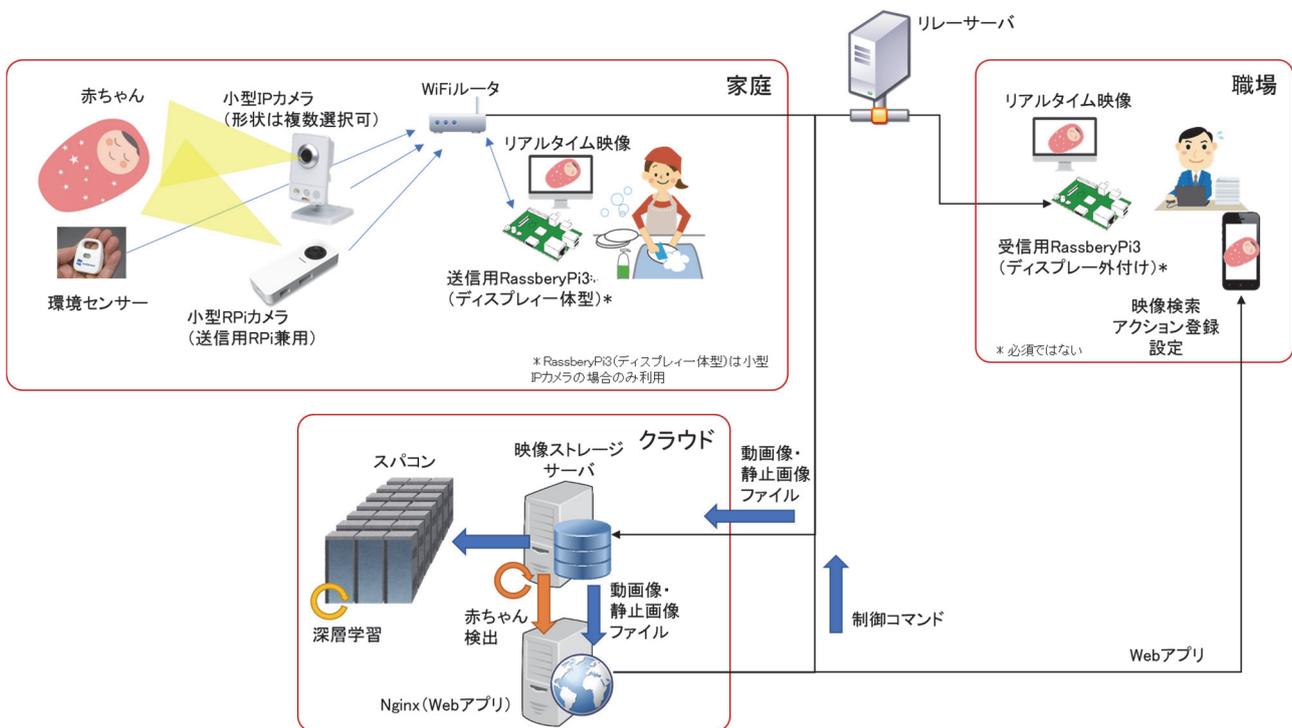


図 5 遠隔赤ちゃん見守りシステム概要図
Figure 5 A schematic picture of remote baby watching system based on visual IoT.

ペレーションでは1分毎に1秒分(30フレーム)の連続静止画像抽出および1時間おきに2秒間の動画抽出などの実験を行い、正常な画像取得を確認している。このような

特殊な画像取得操作は一般的なIPカメラでは容易ではなく、送信側にRaspberry Pi等の小型コンピュータを用いていることの利点の一つである。受信側ではOpenVG開発環

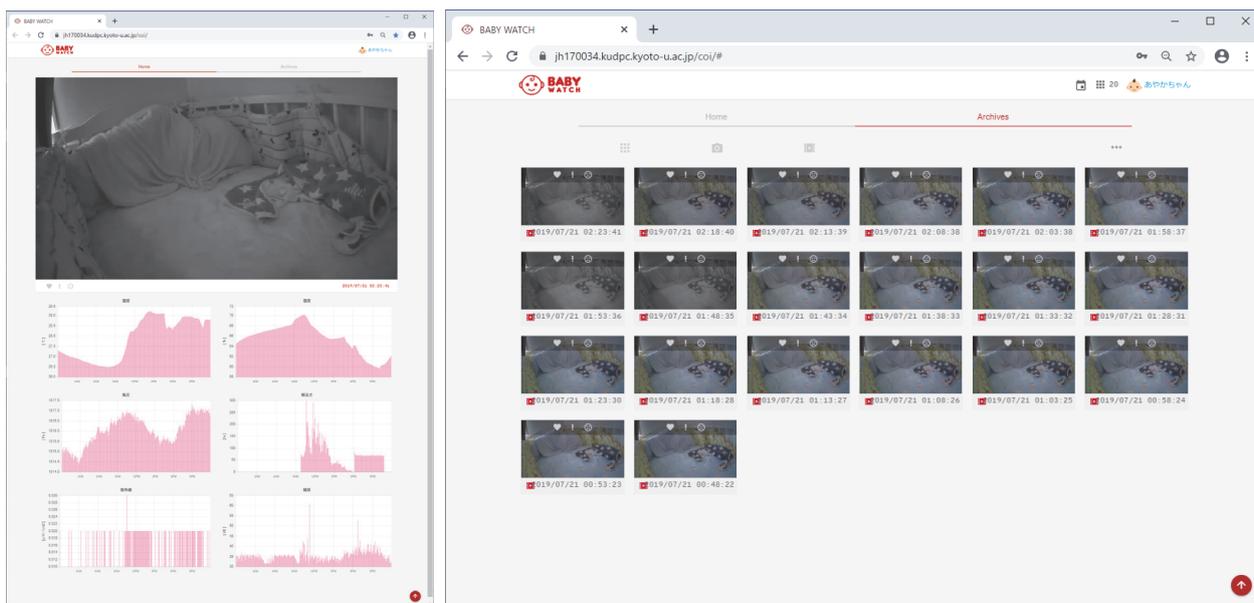


図 6 Web アプリケーションイメージ：リアルタイム映像閲覧用のホーム画面（左）とアーカイブデータ閲覧用のサムネイル画面（右）。個人情報保護の観点から、図には赤ちゃんは映っていない。

Figure 6 Dump images of web application: (left) home for real-time images and (right) thumbnails for archive images.

境を利用して、AR (Augmented Reality) 等により映像に取得情報をオーバーレイすることができる (図 3)。例えば、ネットワークパラメータ (遅延時間, パケットロス率など) や映像パラメータ (フレームレート, ビットレート, 解像度, バッファサイズ等) を受信画面に表示したり, 中心点を+で表示したりするなど, 様々な応用が可能である。

図 4 は, 図 2 の HpVT アプリケーションを用いたシステムの概念モデル図である。図 2 に示すカメラ側 (送信側すなわちエッジ側) の Raspberry Pi においてエンコードされた H.264 エンコードされたフレームデータが HpVT プロトコルによるストリーミングパケットとして送出され, モバイル通信網などを介して受信側の Raspberry Pi で受信される。Raspberry Pi は ARM ベースの安価なシングルボードコンピュータであり, H.264 のハードウェアおよびソフトウェアエンコーダを搭載しているため, HpVT のプラットフォームとして選択した。受信パケットは H.264 デコードされ, HDMI 対応のディスプレイ等に表示される。一方, 送信側の Raspberry Pi 上で OpenCV により抽出されたフレーム画像 (静止画像) ファイルや動画像ファイルは, Web サーバに定期的に伝送される。ストリーミング再生とは異なり映像モニタリングのリアルタイム性はないが, Web アプリでスマートフォン等によりどこからでも準リアルタイムに映像の確認ができる。また, 画像ファイルをアーカイブすることで過去データの検索等も可能である。

2. 赤ちゃん見守りシステム

(1) 赤ちゃん見守りシステム概要

本節では, 図 4 の概念モデルをベースとして設計および実装した赤ちゃん見守りシステムについて議論する。映像 IoT 技術による赤ちゃん見守りは, 3.2 でも述べる通り個人宅での利用と保育園や幼稚園などの公共施設での利用が考えられる。

図 5 に個人宅利用の場合のシステム図を示す。図は, お母さんが育児休暇等で在宅し, お父さんが会社に勤務している事例である。図 3 の IP カメラと送信側 Raspberry Pi は IP 接続されており, 通信は TCP/IP (多くの場合は HTTPS) である。図 5 ではベビーベッドに設置された IP カメラからの映像が IP 通信により家庭内に設置された送信 Raspberry Pi カメラにリアルタイム伝送される。この機能は, HpVT プロトコルではなく IP カメラが標準で行う伝送である。送信 Raspberry Pi が受信するリアルタイム受信した映像は HDMI 出力でモニタリングできる。したがって, モニター一体型の Raspberry Pi を送信用に用いることで, 遠隔地への映像伝送を行いつつ家庭内での赤ちゃん映像の確認が可能となる。たとえば, お母さんが炊事をしているときなどでもベッドの赤ちゃんの様子を確認することができる。一方で, 受信 Raspberry Pi を職場に置くことでお父さんもリアルタイムで赤ちゃん映像を確認できる。この場合, 家庭内にある送信 Raspberry Pi から受信 Raspberry Pi への映像伝送は HpVT プロトコルを用いるため, 高品質低遅延での映像伝送が可能となる。

(2) Web アプリケーション

図5のシステムでは、職場のお父さんは職場において受信 Raspberry Pi でリアルタイム映像を閲覧できるが、同時にスマートフォンやPC等でWebアプリケーションを通じて映像（静止画像、動画像）にアクセスできる。これらの画像はリアルタイム性はないが、遠隔地において継続的にストリーミング動画像を閲覧し続けることは実用上困難であるため、Webアプリケーションによる間接的な見守りも有効である。図6は本研究で実装した赤ちゃん見守りWebアプリケーションである。上図はトップページ、下図はサムネイル画像を示す。トップページ画像は現在の赤ちゃん静止画像をリアルタイムに表示している。静止画像の更新間隔は任意であるが、現在のHpVTアプリケーションでは最短で10秒間隔で更新できる。また、映像配信遅延は数秒程度（ネットワークに依存する）である。したがって、遠隔ユーザは最大で20秒～30秒程度の遅延の静止画像を定常的に閲覧できる。設定によっては静止画像とは別に動画像をサーバから配信することもできる。この間隔や映像の長さはユーザが自由に設定できる。

Webアプリは認証で確認されたユーザのみが自分の赤ちゃんの映像を閲覧できる。その際にデータベースから削除したい画像が存在することがある。例えば着替えのシーンであったり、カメラの設置位置によって部屋が映り込んでいるフレームなどであったりがその対象となる。図5のWebアプリケーションではユーザが不要なフレームをデータベースから削除する機能を有している。

一方で、利用者のモチベーション付けのため、図5のWebアプリケーションではブラウザ上で各画像に「いいね」や「あぶないよ」などのシンボルを付与することができる。これらのインデックスはデータベースに保存される。その結果、家族は赤ちゃんの「いいね」だけを閲覧するなど、見守りだけではなくアルバムとしての利用も可能となる。

3. 赤ちゃん見守り実証実験および社会実装に向けた検討

3.1 画像処理機能の検討（Magnification 技術）

図4に示すシステムは主として目的を映像伝送としている。一方、図2に示す通りHpVTアプリケーションは送信側および受信側でRaspberry Piを使うことでリアルタイムまたは準リアルタイムデータ処理が可能である。現在、筆者らのグループではMagnification（映像強調）技術による画像処理の取り組み[4,5]を進めている。Magnificationは時系列動画像からそのわずかな差分を読み取り、それを映像にフィードバックする画像処理技術である。

本システムにおいてはベビーベッドの赤ちゃん動画像をリアルタイムでMagnification処理することやHaarやSSD（single shot multi-box detection）による赤ちゃんの特徴検出[6]を検討している。赤ちゃんの呼吸によるわずかな胸

の動きをとらえ、映像上でお母さんやお父さんなどが赤ちゃんの呼吸を安心して確認することが期待される。本技術の成果については、別稿において議論する予定である。

3.2 実証実験に向けた検討（AIによる映像判定）

筆者らは、本システムのプロトタイプを用いた実証事件を2017年に約3か月間行った。システムは図5の中で、映像伝送機能のみを用いた実験である。筆者自身が勤務先でお父さんとして受信Raspberry Pi上で赤ちゃん映像の確認を毎日行った。その結果、夜間は部屋が真っ暗になることが多いことや、昼間であってもお母さんと赤ちゃんが外出する機会多いことを体験した。また、赤ちゃんがベビーベッドにいる場合でもカメラの位置によっては赤ちゃんが画面外に出たり、足や手など体の一部のみが映像に映り込んでいたりする場合も多くあった。映像を見るたびに赤ちゃんが映っていないというシチュエーションは、映像確認のモチベーションを低下させる。

このため、図6のwebアプリケーションにおいて赤ちゃんの体または顔が映り込んでいる時間のみを抽出して職場のお父さんに通知するシステムが望まれる。筆者らはCNN（convolutional neural network）により期間中に取得したすべての動画像に対して（1）夜間、（2）赤ちゃん映り込みなし、（3）顔が映っている、（4）顔以外の体の一部が映っている、の4パターンの学習と判定を行った。完全な学習はできず一定数の誤判定を含む結果となったが、実用上は有効であるという成果を得た。この判定については別稿において議論する予定である。

3.3 社会実装に向けた検討

本システムの社会実装を考える際には、赤ちゃんをどのように見守るかという手法の検討は必須である。まず、実用フィールドとしては一般家庭と保育園・幼稚園などの公的機関での利用が主となると考えられる。これらにおいて、本システムを用いた遠隔赤ちゃん見守りについては、図4に示す通り自宅内と遠隔地の両方で見守ることができる。単独での定常的な赤ちゃん見守りは見守る側の負担も大きい。HpVTアプリケーションでは図4のリレーサーバから複数の受信Raspberry Piに映像ストリームをマルチキャストすることができる。また、同図のWebアプリケーションには複数の協力者が同時に映像を確認することができる。これらを鑑みると、本システムでは一人の赤ちゃんを複数で遠隔地から見守ることが有効であると予想される。たとえば、互いに信頼できる複数の家庭が互いの赤ちゃんをベストエフォートで互いに見守ることや、保育園において複数の保育士が保育園全体の低年齢幼児をそれぞれの部屋や端末で見守ることなども可能となる。

4. おわりに

赤ちゃんのうつぶせ寝による窒息死や乳幼児突然死症候群（SIDS）などは社会問題の一つとなっている。ベビー

ベッドや保育所において特に睡眠中を中心とした赤ちゃんの見守りに関しては多くの研究開発や商品事例があるが、突然死数が飛躍的に低下しているわけではない。本研究開発では、これまでに筆者らが開発してきた映像 IoT 技術を赤ちゃん見守りに適用することを試みた。実際の赤ちゃん見守りはまだ行っていないため、本発表ではそのシステムについて紹介し、予備試験結果について議論した。今後は実フィールドでの実験を進めていくことになるが、システムが直接的に赤ちゃんに関わることを考えると、その有効性と実用範囲を明確にすることが最も重要であると思われる。特にこのシステムに育児を全面的にゆだねることは危険であり、あくまで支援ツールとして位置付けることが不可避である。

謝辞 本研究は JST/COI/JPMJCE1307 の支援を受けて行ったものです。また本研究で用いられている技術開発の一部は JSPS 科研費 JP17K00158, JST/CREST/JPMJCR15K4, JST/SICORP/JPMJSC18E3 の助成を受けたものです。実験に協力していただいた村田史佳ちゃんとそのお母さんに感謝します。

参考文献

- [1] R. Iyer and E. Ozer, "Visual IoT: Architectural Challenges and Opportunities; Toward a Self-Learning and Energy-Neutral IoT," vol. 36, no. 6, pp. 45-49, 2016. https://www.ipsj.or.jp/journal/info/jour_topics/topi44.html, 2018-12-02.
- [2] Y. Kagebayashi, T. Aoki, T. Mizuhara, A. Takaki, Y. Kakizawa, K. T. Murata, P. Pavarangkoon, K. Yamamoto, K. Muranaga, E. Kimura, "Development of Remote Monitoring Camera with HD Resolution Working on Raspberry Pi," in JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017.
- [3] K. T. Murata, P. Pavarangkoon, S. Phon-Amnuaisuk, T. Mizuhara, K. Yamamoto, K. Muranaga and T. Aoki, "A Programming Environment for Visual IoT on Raspberry Pi," The 5th IEEE International Conference on Cloud and Big Data Computing (CBDCom 2019), Fukuoka, Japan, 5-8 Aug. 2019. 10.1109/DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech.2019.00180
- [4] Hao-Yu Wu, Michael Rubinstein, Eugene Shih, John Guttag, Fredo Durand, and William Freeman, "Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world", In ACM Transactions on Graphics, Vol. 31, pp. 1-8, 2012. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/86955>
- [5] Tae-Hyun Oh, Ronnachai Jaroensri, Changil Kim, Mohamed Elgharib, Fredo Durand, William T Freeman, and Wojciech Matusik, "Learning-based video motion magnification", In Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 633-648, 2018. <https://arxiv.org/abs/1804.02684>
- [6] S. Phon-Amnuaisuk, K. T. Murata, P. Pavarangkoon, T. Mizuhara and S. Hadi, "Children Activity Descriptions from Visual and Textual Associations," 13th International Conference, MIWAI 2019 Proceedings, vol. LNAI 11909, no. 121, pp. 132, Kuala Lumpur, Malaysia, 17-19 Nov. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33709-4_11