

Android 端末を利用した乳幼児見守りシステム

齊藤桂[†] 齊藤明紀^{†2} 猪俣敦夫[†] 藤川和利[†]

概要:

乳幼児の育児においては見守りが重要である。しかし家事や在宅勤務の都合上、常に乳幼児に目を離さず集中して見守り続けることは現実的ではない。そこで本研究では自力で移動が可能な生後 6 ヶ月以降の乳児～小学校就学までの幼児を住宅内で見守る際に、既に我々の生活に密着した端末として Android を用いて支援する手法を提案する。具体的には、乳幼児に Android 端末を装着し、端末の向きと加速度から乳幼児の状況や警告の必要性を判定する。一方、保護者側端末には乳幼児の状況を表示し、強い衝撃や横たわったまま動かない等の異常と疑われる場合には、警告音等により保護者に注意を促す。これにより乳幼児に何らかのアクシデントが発生した場合に素早く対処できると考えられる。さらに、提案手法の有効性を評価するために実施した実証実験により、走行などの激しい活動、歩行や座り、遊びなどの穏やかな行動、睡眠・昏倒などの横たわった状態、転倒・転落などが検知できることを確認した。

キーワード: 乳幼児 見守り Android 端末 通知システム

State Notification System of an Infant on Android Device

Katsura Saitoh[†] Akinori Saitoh^{†2} Atsuo Inomata[†] Kazutoshi Fujikawa[†]

Abstract:

To avoid accident, it is important to watch infants attentively. However, for home working and/or house working, we cannot keep watch on the infant a lot. In this research, we propose a system that watches over infant which can walk or run using an android device. In proposed system, an android device is attached to an infant. Then direction and acceleration of the device are analyzed on server to guess the activity of the infant and necessity of alerting parent device. On the parent device, infant's status is displayed. On a possibility of accident, such as strong shock or lie down with no motion, the parent device alerts parent with beep sound. It enables the parent to handle accidents quickly. We carried out preliminary experiments to develop an algorithm to estimate the status of the infant using position sensor and acceleration sensor. We also established thresholds of sensor readouts. We also developed a prototype system and carried an experiment. Our system can detect strenuous activity such as running, weak activity such as running or play sitting, sleep or unconscious, and falling down.

Keywords: infant, Childcare, Android device, Notification system

1. はじめに

乳幼児の死亡数及び死亡率は年々減少傾向にあるが、厚生労働省の人口統計[1]によるとその死亡原因の上位が不慮の事故となっている。このような事故を防ぐためには乳幼児の監護者が乳幼児から目を離すべきでないと言われることが多い。しかし、実際に常に乳幼児から目を離さないということは難しい。例えば家事や在宅勤務などで、監護者の注意が自分の手元に集中したり、乳幼児から離れた場所で作業する必要があったりなど乳幼児から目を離さざるを得ない状況が発生する。

そこで本研究では、住宅内において生後 6 ヶ月以降の自力で歩行可能な乳幼児を保護者一名で監護する場合にその監護業務を支援するシステムを考案する。具体的には、乳幼児に Android 端末を装着し、端末の向きや加速度に異常がみられた場合に保護者の所持する端末に警告を送信する。

保護者が目を離している間に乳幼児が危険な状態にあった場合に保護者に知らせることで、乳幼児監視の負担を軽減することが本研究のねらいである。また、センサデータや乳幼児の行動をサーバへ蓄積することで乳幼児のライフログ的な利用や乳幼児の行動データベースとしての活用も期待できる。

2. 乳幼児見守りの現状と支援システム

乳幼児は生後しばらく寝たきりの状態であるがその成長スピードは早く、月齢が大きくなるにつれて可能な行動や活動範囲が増える。本節では本研究で対象とする生後 6 ヶ月以降の乳幼児の成長と各ステージにおいて多い事故およびそれらを防ぐために現在用いられている育児支援システムについて述べる。

2.1. 乳幼児の成長ステージにおける代表的な行動とそれに伴う事故

乳幼児によくみられる事故を表 1 に示す [2][3][4]。現在は乳幼児見守りを支援する様々なシステムや研究がある。

[†]奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology
^{†2}鳥取環境大学
Tottori University of Environmental Studies

表 1 乳幼児の年齢と行動・多く発生する事故

年齢	行動	多く発生する事故	
乳児 6ヶ月～1歳	生後6～7ヶ月	あおむけ、うつぶせの状態から左右どちらかの方向に自力で自分の身体を転がす(寝返りをうつ)	ソファ・ベッドからの転落 タバコの誤飲 ポット・ストープ等による火傷
	生後9～10ヶ月	はって移動できる	浴槽での溺水
	生後11ヶ月～満1歳未満	つかまり立ちができる	自動車による交通事故 カミソリによる切傷 ビニールによる窒息
幼児 1歳～小学校入学まで	1歳3ヶ月～	一人歩きができる・高所(テーブル・椅子等)から飛び降りる	階段・ベビーカーからの転落
	1歳6ヶ月～	支えがあれば階段を昇降できる	浴槽での溺水 タバコや菓子の誤飲
	2歳～	走る・両足でジャンプができる すべり台に上ってすべる ドアやベビークートを開閉できる	飲食物やストープでの火傷 自動車同乗中の交通事故
	3歳～	人で階段を昇降できる 三輪車に乗れる	火遊びによる火傷 ベランダ・滑り台・ブランコからの転落
	4歳～	片足ケンケン・でんぐり返しができる ・ブランコに立ってこげる	自動車同乗中・歩行中・道路遊び中の交通事故 川・池・プールでの溺水
5歳～	補助つき二輪車に乗れる		

表 2 状態通知の要・不要とその緊急性

通知	緊急性	行動・事故
必要	高	激しい転倒・転落 階段の昇降 窒息 溺れ 火傷 交通事故 切傷 誤飲
	中	寝ている 寝返り 走る 軽い転倒
不要	低	座る 立つ 歩く 飛び跳ねる

表 3 Android が持つセンサと検出可能な状態

Androidセンサ・機能	検出可能な状態
加速度・重力センサ	歩く・走る等の行動 転倒・転落の衝撃
ジャイロスコープ 磁気・方位センサ	体の傾き・回転などの姿勢 (寝転んでいる、振り返った等)
気圧センサ	高度の変化・昇降運動
マイク	声(泣いている、笑っている等)
照度・湿度・温度・カメラ	乳幼児の周辺環境

2.2. 泣き声検出とカメラによる監視

居室内での育児支援システムとしてベビーモニタが普及している。乳幼児の泣き声を検出し別室の保護者用の端末にアラームで通知するもの[5]や、Web カメラを組み合わせることで保護者端末から乳幼児の映像を見ることができ音声も双方向にやりとりできるものもある[6]。

2.3. センサによる行動認識・追跡

Boughorbelらは乳幼児のズボンの尻ポケットにセンサデバイスを入れ、センサデータから乳幼児の行動が歩く・横たわる・走る・階段を昇る・転倒・立ち上がる・その他のうちどれに属しているか行動認識をおこなっている[7]。平塚らは一般家庭での実時間見守りサービスとして乳幼児溺れ防止システムを開発している[8]。また新谷らは、加速度センサとTVカメラの映像から保育所における幼児の行動を追跡・記録し保育士を支援することに取り組んでいる[9]。

2.4. 既存システムと関連研究における問題点

乳幼児が自力で移動可能になる時期の支援システムとしてベビーモニタが普及しているが、主な用途は睡眠中の乳幼児の監視であり、活動中の乳幼児を監視する場合は結局保護者がモニタを注視するほかない。しかし保護者が目を離している際に乳幼児の事故が多く発生していることから、保護者が乳幼児から目を離していても乳幼児の危険を素早く検知できるような支援システムがあることが望ましい。乳幼児に起こる危険の中で最も重篤率が高い浴槽での溺水については平塚らによって検出手法が提案・試作されているが、その他のアクシデントを検出する研究やシステムの普及は未だ十分ではない。活動中の乳幼児の行動追跡については Boughorbel ら、新谷らによって研究されているが、Boughorbel らの研究では乳幼児の行動を推定するに留まっており、新谷らのシステムは想定している利用シーンが保育所であり用途も記録に限られている。

以上をふまえ、本研究では住宅内における自力で移動可

能な乳幼児を対象とした乳幼児見守り支援システムを考案する。

3. 提案手法

本研究では安価で一般に普及しており加速度センサや方向センサ等の乳幼児の見守りに有用なセンサが搭載されていることから Android 端末を用いる。

3.1 提案手法の概要

本研究で提案する乳幼児の状態検知・通知システムは乳幼児見守り用 Android 端末(図 1-①)、センサデータ管理用サーバ(図 1-②)、保護者用通知受信端末(図 1-③)によって構成される。

- ① 乳幼児端末…乳幼児に装着する Android 端末で、端末の向きと衝撃を検出し、一定量蓄積後にセンサデータ管理用サーバに送信する。
- ② センサデータ管理用サーバ(以下サーバ)…受信したセンサデータを蓄積・分析し、保護者端末への通知と応答の確認を行なう。
- ③ 保護者用通知受信端末…乳幼児のそばを離れる保護者が手元に所持する端末。②のサーバからの乳幼児状態通知や警告を受信し、表示する。

3.2 本提案で検出する乳幼児の状態

本研究では保護者に乳幼児の行動を通知するが、表 1 で示した乳幼児の行動と事故の中では、立つ・座る等の平常時の行動を警告する必要はない。逆に事故については警告すべきであり、特に溺れ・転落等の重篤化するケースの多い事故については緊急性を要する。表 1 で挙げた行動と事故について警告の必要性の有無と検出の緊急性に基づき表 2 に分類した。このうち、本研究では事故(激しい転倒・転落)、保護者の見守りが無い場合に注意が必要な行動(睡眠状態・寝返り・走行状態・軽い転倒)および平常行動(座る・立つ・歩く・ジャンプ等)の検出を目指す。

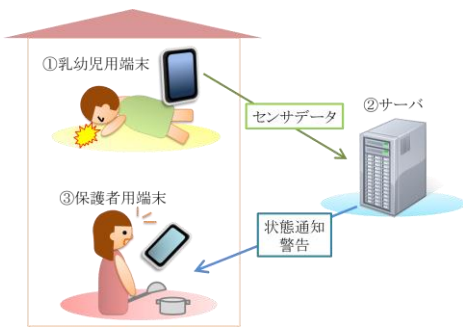


図1 提案システムの構成

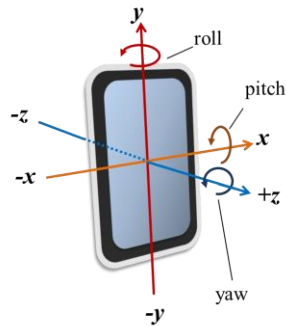


図2 3軸センサの各軸と回転

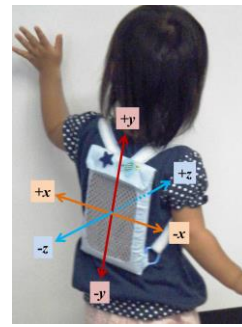


図3 端末装着例



図4 実験用人形

その他の行動については、まず窒息・溺れの検出については既存システムと関連研究で検出がなされており、交通事故については本システムの利用を屋内と想定しているため扱わないこととした。階段での転落事故が多いことからその昇降を検知できるとよいが、気圧センサと加速度センサを利用して昇降状態を推定する手法[10]を応用すればよいと考えられる。火傷・切り傷・誤飲については火気のあるものや温度の高い物・刃物・口に入る大きさの物を乳幼児のそばに置かないという環境整備によって防ぐことができるため検出対象から除外した。

Android 端末で利用可能なセンサと Android 端末を乳幼児に装着した場合に検出可能であると考えられる状態を表3に示す。まず加速度センサや重力センサを用いれば激しい転倒・転落の衝撃や走運動等の活発な行動、立つ・歩くなどの平常行動が検出できると考えられる。睡眠状態・寝返り等の検出は乳幼児の姿勢情報が必要となるがこれについては端末の回転を検出するセンサを利用すればよい。

3.3 提案方式のメリット

本研究の提案システムでは、既存のカメラ型ベビーモニタのような取り付け・配線の手間がかからず、乳幼児が部屋から部屋へと移動しても追跡が可能である。また、本システムは検出した状況を画面表示するが重大な事象については警告音を発するためベビーモニタのように画面を注視する必要がないということがメリットとして考えられる。

さらに、乳幼児の行動データを蓄積し、より高度な解析を行なうことで転倒・転落などのアクシデントにつながる行動を推定できる可能性があるとも考えられる。

4. 設計と実装

以上で述べた提案手法を元に試作システムの設計と実装を行なった。

4.1 機能設計

提案システムの構成は、乳幼児見守り用 Android 端末に必要な機能として、センサデータの取得、センサデータを用いた転倒・転落にともなう衝撃や睡眠状態・平常行動の検出と管理サーバへのセンサデータ送信が挙げられる。

サーバの機能として、センサデータの分析や保護者端末に対する通知などが挙げられる。通知には定期的に乳幼

表4 予備実験取得データ

行動	発生数	合計(秒)	行動	発生数	合計(秒)
直立	2	24	椅子から降りる	2	10
仰向け(仰臥)	2	17	階段を昇る	2	59
うつ伏せ(伏臥)	3	32	階段を下りる	2	51
座位	2	117	転倒(被験者)	6	39
しゃがむ	1	5	転倒(人形)	14	56
這う	2	25	転落(人形)	6	29
高這い	2	10	泣く	3	60
歩く	10	170	睡眠(伏臥)	1	261
走る	16	151	睡眠(右向き)	1	22
よじ登り	1	18	睡眠(左向き)	1	715

児の状況を知らせる通常の通知と、転倒・転落などの異常を知らせる警告の2種類を設ける。警告の中にも重要度に応じてレベルを設ける。

保護者用端末では、通知・警告の表示と通知を確認した応答をサーバに送信する機能などが挙げられる。

4.2 予備実験

詳細設計に先立ち、Android 端末に搭載されているセンサから取得可能なデータを利用して乳幼児の現在の行動が判定可能かどうか検証するため、予備実験を行なった。

4.2.1 予備実験概要

実験では Android 端末として Nexus7 (198.5 x 120 x 10.45 mm, 347 g) [11]を使用した。予備実験では加速度センサ、重力センサ、地磁気センサの値を取得することとした。これらは全て3軸のものである(図2)。加速度センサは重力加速度も含めて m/s^2 単位で検出するため直立静止時のセンサ出力は (0, 9.8, 0) となる。

乳幼児の動きをできるだけ阻害しないでモニタリングを行なうため、端末をホルダーに収めて被験者に背負わせることとした。端末は長軸を縦方向として画面が背中を向くように背負わせるためセンサ軸と乳幼児の体軸との関係は図3のようになる。被験者は1歳11ヶ月(2014年8月現在)の女兒1名で、歩行・走行・段差への登り降りを自力で行なうことができ、階段を概ね手すりを利用せず昇降可能な程度の運動能力を有している。実験では被験者に Android 端末を背負わせた状態で自由に行動させ、その間に静止・歩行・走行・転倒等のデータを収集・ラベル付けした(表4)。以下で予備実験から得られたデータについて述べる。

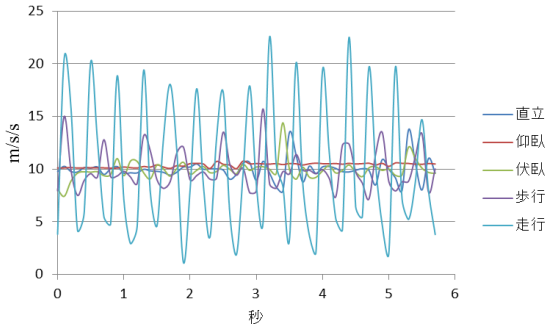


図5 静止時・行動時の加速度の大きさ

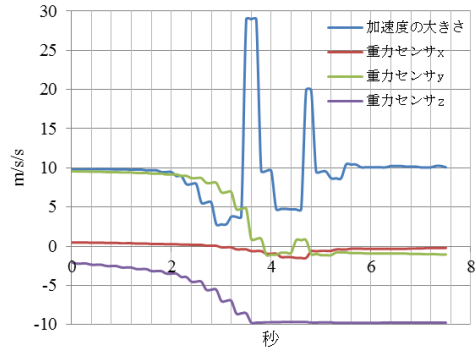


図7 転倒時の加速度・重力値変化

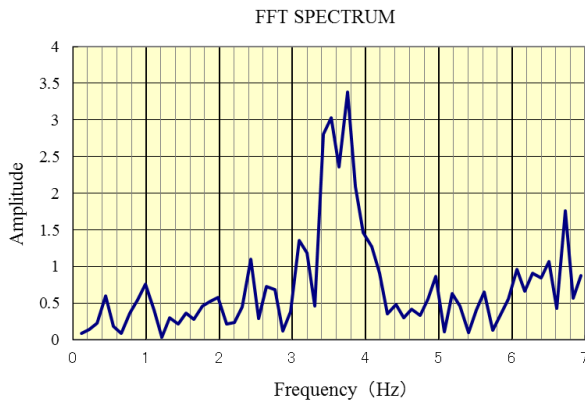


図6 走行時のスペクトル

・加速度の大きさの変化

静止時（直立，仰臥，伏臥）と行動時（歩行，走行）の加速度の大きさ（xyz各成分の二乗和平方根 $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ ）を比較したものを図5に示す。静止時はどの姿勢の場合も加速度の大きさは概ね $9 \sim 11 \text{m/s}^2$ に収まり大きく変化しなかった。したがって加速度の大きさに閾値を設け、閾値を下回っていれば静止していると判断可能であると考えられる。歩行時と走行時は加速度の変化が大きいことがわかる。歩行は概ね $7 \sim 13 \text{m/s}^2$ ，走行は $4 \sim 20 \text{m/s}^2$ となった。また、走行データのFFTスペクトルを図6に示す。スペクトルから毎秒3.7歩程度のピッチで安定して走行していることがわかった。成人の歩行・走行認識にはフーリエ変換が利用されることが多いがFFTでは数歩以上の繰り返しの後でなければ判別できない。乳幼児の走行ピッチが3.5~4.3で安定しており個人差が少ないとされており[12][13]，予備実験でも同様の結果を確認できたため、閾値を超える縦加速度が所定の間隔で繰り返し現れることを条件とすれば、走り始めてすぐに走行が検出できると考えられる。歩行データについてもフーリエ変換を行なったが、通常の歩行と立ち止まり・早歩きが混在したため安定したスペクトルを得られなかった。しかし本研究では歩行状態の保護者への警告は必要ないと考えるため、歩行はその他の平常行動と区別せず扱うこととした。

・転倒・転落時の特徴

被験者での実験では転倒時のデータが十分に得られな

ったため、実験用人形（図4）を用いてフローリング床での転倒データを取得した。人形は1歳~2歳児の平均にあたる重さ9.3kg，身長73cmのものを利用した。人形の転倒時の加速度変化を図7に示す。被験者の走行時のピークが $18 \sim 22 \text{m/s}^2$ であったことに対し転倒時は $26 \sim 30 \text{m/s}^2$ と加速度のピークが大きいことがわかった。また、転倒が始まると自由落下状態となるため加速度および重力センサの値が大幅に減少した。転落時も同様の変化であったため、加速度の大きさが連続して0に近づいた後に大きな衝撃が加わった場合に転倒・転落と判定できると考えられる。

・転倒後の行動

予備実験中、被験者が数回転倒したが軽度の転倒であり、転倒後に被験者が泣いたり動けなくなったりというケースは発生しなかった。このような軽度の転倒は乳幼児を監護する上では日常茶飯事であり、その都度警告してしまうことは避けたい。したがって、たとえ加速度センサの値から転倒したと判断されてもその後すぐに体を起こす・歩行・走る等の通常の行動に復帰した場合は保護者に警告しないという工夫が必要であると考えられる。

4.3 詳細設計

提案システムの処理フローの概要を図8に示す。乳幼児端末ではセンサデータを取得し、定期的送信を行なう。また乳幼児の状況について粗い判断をおこない異常が疑われる場合は即座に計測値を送信する。サーバは受け取った計測値を分析し保護者端末への通知の必要性を判断する。保護者端末では情報の表示を行なう。

4.3.1 乳幼児端末

バッテリーの稼働時間に配慮するため、乳幼児端末におけるデータ解析は簡易なものにとどめ詳細分析はサーバに任せることとした。また、安静時には0.5秒間隔で間欠的にデータを送信し、被験者の活動性に応じてセンサ値の取得・送信頻度を変えることとした。

加速度と端末の傾きから乳幼児がアクティブな状態か、非アクティブな状態か、その中でも危険な状態にないかを判断する（図9）まず、加速度の大きさが閾値と比較し小さい場合は非アクティブな状態であると判定し、睡眠・昏倒判定フローに移る（図10）。乳幼児端末の加速度監視で一

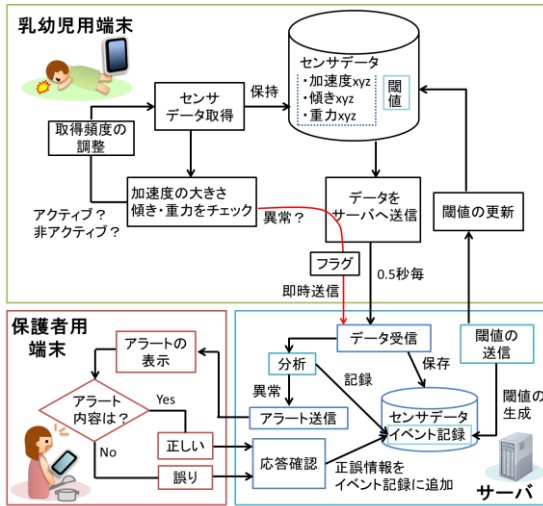


図8 提案システムの処理概要

定時間の非アクティブ状態の継続が見られた場合は睡眠または昏倒の可能性があるとして判定し、サーバに対して分析要求をする。加速度が非アクティブ閾値と走行閾値の間に収まっている場合は問題無しとみなし、引き続き通常モードでの監視を行なう。加速度が走行閾値を越えた場合は走行判定フロー(図11)へ移り、転倒・転落閾値を超えた場合は転倒・転落判定フロー(図12)へ遷移する。双方とも警戒のためセンサデータの取得頻度を高める。また、加速度が転倒・転落閾値を越えた場合はバッファ内のデータを分析要求と共に即座に送信することとした。その後加速度や姿勢の変化が緩やかになった場合は通常のセンサデータ取得頻度に戻る(図13)。

4.3.2 サーバ

サーバでは乳幼児端末から受け取ったデータをその都度分析・保存する。また、保護者端末に警告を送信し、応答を受信する。応答に含まれる警告の正誤判定から行動別閾値の修正を行なう予定である。

・センサデータの受信

受け取ったセンサデータをデータベース(以下DB)に保存し、センサデータの分析処理を起動する。パケットロスなどのリトライはHTTPプロトコル側が処理するため、サーバ側はDBのセンサデータが一定期間更新されなかった場合に乳幼児端末からの通信途絶とみなす。

・センサデータ分析

加速度と端末の向きを分析し、必要であれば保護者端末への通知や警告を行なう。また、乳幼児端末からの分析要求を受けて詳細なデータ分析を行なう。分析要求に睡眠・昏倒フラグが立っていた場合、加速度が静止閾値内に収まり端末の傾きに変化がみられない状態が継続するか分析を行なう(図10)。変化の無いまま一定時間経過した場合は睡眠・または昏倒とみなして保護者に通知し応答を待つ。

走行フラグが立っていた場合、走行閾値を超えた最初の時点から監視を行ない、走行閾値を超える衝撃が4歩分検

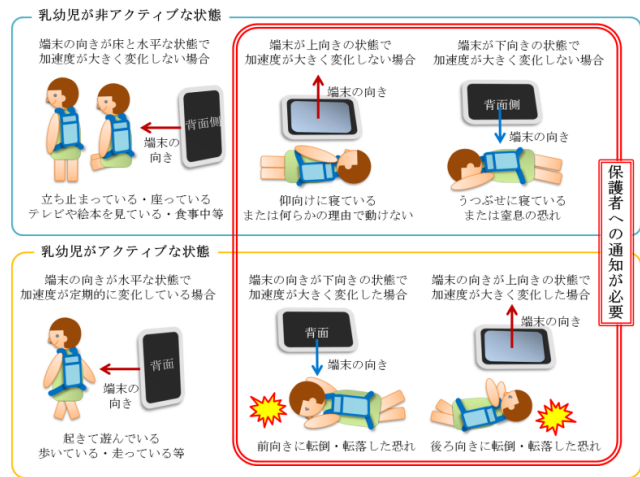


図9 アクティブ・非アクティブ判定

出された時点で走行状態とみなし保護者への通知を行なう(図11)。

転倒・転落フラグが立っていた場合はまず加速度が転倒・転落閾値を最初に超えた時点から後に加速度や姿勢に変化があるかを分析する(図12)。大きな衝撃があったものの、その後も加速度が非アクティブ閾値を超えて変動している場合は軽度の転倒であるとみなし保護者端末へは通知しない。最初の衝撃を検知後、加速度が静止閾値内に収まり姿勢の変化も見られないまま一定時間経過した場合は転倒・転落が発生し乳幼児が動けない状態であるとみなし保護者への警告処理へ移る。

上記以外の場合は静かに遊んでいるあるいは休んでいると判断して保護者端末に通知する。

・保護者端末への通知と警告記録

センサデータの分析結果を保護者端末へ送信する。警告内容はDBに登録し、後に保護者応答に含まれる正誤判定を警告記録に追加する。保護者端末ではサーバからの警告内容に含まれる情報に応じて該当するメッセージの表示を行なう(図15)。保護者が警告を確認後、通知の正誤を選択しOKボタンを押し、その応答をサーバへ送信する。また、通信途絶の場合は即座に保護者端末に警告する(図14)。これは水没などの緊急の可能性が考えられるためである。

4.3.3 保護者端末

保護者端末ではサーバからの通知内容に応じて乳幼児の状態を表示する(図15)。またサーバから重要度の高い警告を受信した場合は表示や警告音鳴動を行なう。保護者が子供の様子を確認し、誤通知であった場合はその旨の応答をサーバへ送信する。サーバからの状態通知が途絶えた場合は警告を発する。

4.4 試作システムの実装

詳細設計に基づいて提案システムの試作を行なった。ネットワーク環境については住宅内に無線LAN基地局が設置されていることを想定し、各端末とサーバ間の通信はWi-Fi(IEEE802.11n)を用いた。

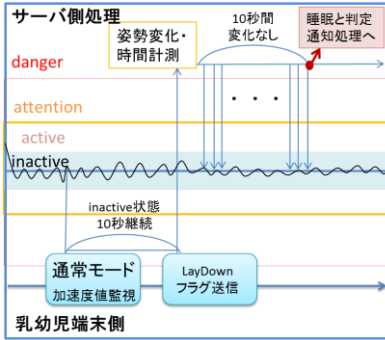


図 10 睡眠・昏倒判定フロー

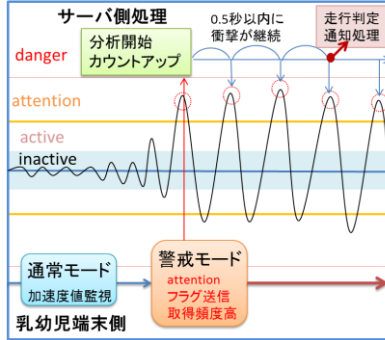


図 11 走行判定フロー

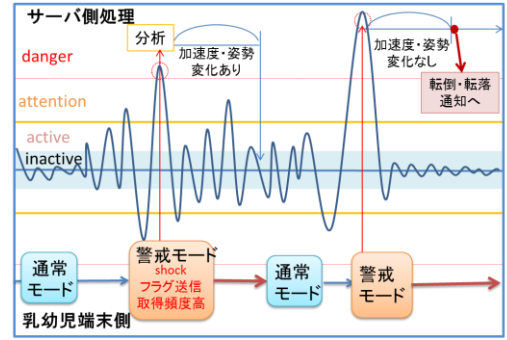


図 12 転倒・転落判定フロー

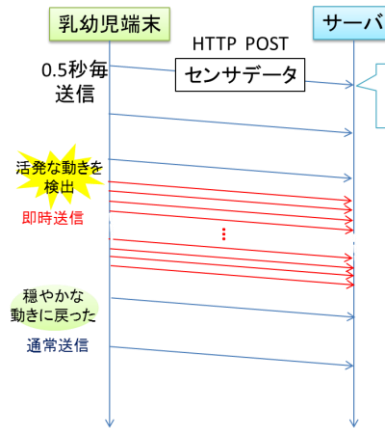


図 13 乳幼児端末・サーバ間通信

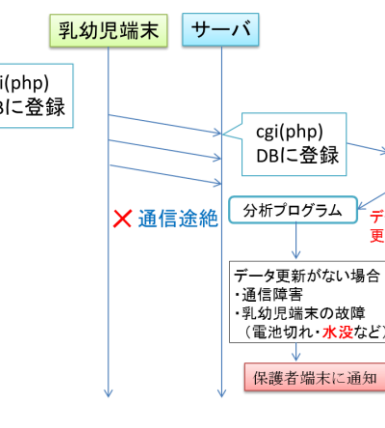


図 14 乳幼児端末通信途絶時

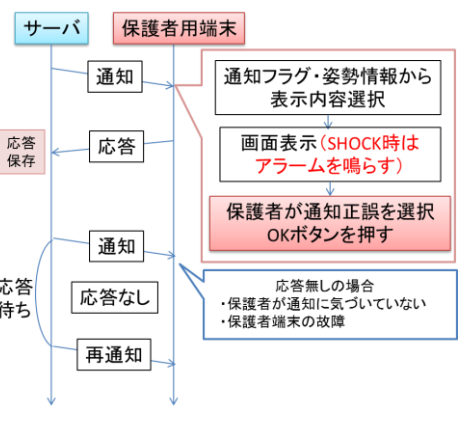


図 15 保護者端末処理

4.4.1 乳幼児端末

乳幼児端末は予備実験同様 Nexus7 を使用し、実装は Android SDK 4.2.2(API19)で行なった。

・センサデータ取得

センサマネージャのインスタンスを生成し、加速度センサ (TYPE_ACCELEROMETER) と重力センサ (TYPE_GRAVITY)、地磁気センサ (TYPE_MAGNETIC_FIELD) をリスナーに登録する。センサデータは onSensorChanged メソッドから受け取る。センサデータの通知の頻度は通常時は NOMAL_DELAY_UI (約 60ms)、緊急時は SENSOR_DELAY_FASTEST (約 5ms) でデータ取得を行なうことにした。取得したセンサデータは連番と取得日時を与えバッファする。

・異常判定

まずセンサデータ取得プログラムが取得したデータから加速度の大きさを求める。また加速度 xyz と地磁気データから getOrientation メソッドで端末の傾きを計算する。

加速度が非アクティブ閾値を下回る場合は静止または睡眠状態の可能性があると判定し、端末の傾きが仰臥か伏臥状態 (LieDown) であった場合センサデータ送信プログラムに通知する。端末の傾きが直立状態であった場合は立ち止まっているまたは座っているとみなして通知は行なわない。加速度が走行閾値を上回る場合は走行フラグ (Run) を、転倒・転落閾値を上回る場合は転倒・転落フラグ (Fall) を付加するようデータ送信プログラムに通知し、センサ

取得頻度を SENSOR_DELAY_FASTEST に変更する。

・センサデータ送信

取得したセンサデータはバッファし、0.5 秒経過するか異常判定された時点でまとめて送信する。送信するデータは時系列に連番を加えたもので、加速度 xyz、重力 xyz、地磁気 xyz を JSON 形式で送信する。異常判定プログラムから通知を受け取った場合、バッファ中のデータを分析要求フラグ (LieDown, Run, Fall) と姿勢情報 (うつぶせ: Prone, 仰向け: FaceUp, 直立: Stand) とともに送信する。

4.4.2 サーバ

試作の実装にはローカルサーバを利用した。プロセッサは AMD Athlon(tm) II X4 640 (3GHZ, 4 コア)、メモリは 4GB である。DBMS は MySQL5.7.19、プログラミング言語は PHP5.5.14 と Ruby2.0.0、Java8.0 を使用した。

・センサデータ・警告データ保存

乳幼児端末から PHP プログラムでデータを受けとり SensorData テーブル (表 5) へ登録する。試作では重力値を行動判定に用いていないが、転落時に重力値が継続して減少する点を転落判定の精度向上に利用できると考えたため重力値も記録している。

・データ解析

LieDown フラグを受信した場合は、加速度が静止閾値内に収まり、かつ現在の端末の向きと過去の端末の向きを比較し変化が無いかを分析する。この状態が一定時間継続した場合睡眠または昏倒とみなし保護者への警告発行処理に

表 5 SensorData テーブル構造

項目名	SequenceID	Timestamp	Magnitude	GravityX	
内容	連番ID	取得日時	加速度値 $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$	重力x	
型	int	timestamp	double	double	
項目名	GravityY	GravityZ	pitch	roll	yaw
内容	重力y	重力z	ピッチ角	ロール角	ヨー角
型	double	double	int	int	int

表 6 AlertData テーブル構造

項目名	SequenceID	Timestamp	Alert	Position	judge
内容	連番ID	発行日時	アラート内容	姿勢	正誤判定
型	int	timestamp	int	int	int

移る。Run フラグだった場合、加速度が走行閾値を越えた最初の衝撃を検知した時点から次の1歩による衝撃をカウントする。次に走行検知閾値以上の加速度を0.5秒以内に検知できた場合、走行カウンターをインクリメントする。カウント数が4に達した時点で走行中(Running)と判断し、警告発行処理へ移る。

Fall フラグだった場合は転倒・転落の恐れがある(Fall)とみなし即時に保護者へ通知を行なう。

・保護者端末への警告送信と警告の記録

データ解析の結果を保護者端末へ送信する。また、通知・警告の発行時刻と判定結果(0:LieDown, 1:Running, 2:Fall), 姿勢情報(0:Prone, 1:FaceUp, 2:Stand), 警告の正誤判定(空欄)をAlertDataテーブルに登録する(表6)。後に保護者から応答を受け取った際に警告の正誤判定欄に判定結果(0:incorrect, 1:correct)を追加する。

4.4.3 保護者端末

保護者端末には乳幼児端末と同様にNexus7を使用しAndroid SDK 4.2.2(API19)で実装を行なった。

・保護者端末での処理

保護者端末には通知用メッセージデータを持たせ、受信した警告内容によって表示するメッセージを選択するよう実装した。

・イベント正誤判定の登録

警告表示を保護者が確認後、警告内容が正しかったか誤りであったかをチェックボックスで選択し、確認ボタンを押すとサーバへの応答が送信されるようにした。

5. 本実験と評価

実装した試作システムを使用して本実験を行なった。被験者は予備実験と同様の1歳11ヶ月の女兒1名である。

5.1 本実験の内容

本実験では乳幼児端末を装着した状態で約80分間自由に行動させ、その間に起きた睡眠・昏倒、走行、転倒・転落などの保護者に通知されるべき行動が本手法で検出されるか検証を行なった。実験中は乳幼児が行なった行動と発生時刻を記録するとともに保護者端末に適切な通知がな

表 7 行動別 分析要求・保護者通知数

行動	発生数	合計(秒)	乳幼児端末 分析要求	保護者 通知	見逃し	誤検知
睡眠(予備実験時)	3	998	4	4	0	0
横たわる(人形)	2	49	2	2	0	0
走っている	15	246	182	21	2	6
転倒(被験者)	15	33	30	24	0	9
転倒(人形)	19	151	25	20	0	1
転落(人形)	6	29	8	6	0	0

されたか照合した。また、乳幼児の行動記録では保護者に通知されるべき行動があったが通知がなかった場合(見逃し)と、通知が必要でない時に通知があった場合(誤通知)を数えた。睡眠・昏倒状態と転倒・転落状態については実験中に被験者から十分なデータが得られなかったため、睡眠については予備実験で得た被験者の睡眠データを、転倒・転落状態には実験用人形(図4)を使用した。

乳幼児の行動判定用の閾値は静止閾値を9.0~11.0m/s²、走行閾値を4.0~20.0m/s²、転倒・転落閾値を1.5~25.0m/s²として実験を行なった。その他のパラメータとして睡眠・昏倒判定では乳幼児端末での監視を10秒間、サーバ分析を10秒間の計20秒間とした。同様に乳幼児端末とサーバ間の通信が途絶えた場合の保護者通知への待ち時間も20秒に設定した。転倒・転落判定では転倒・転落閾値を超える衝撃を検出後5秒間の加速度・姿勢変化をみて判定を行なうこととした。

5.2 評価と考察

実験中に行なわれた被験者の行動、乳幼児端末からサーバへの分析要求数、サーバ分析の結果発行された保護者端末への通知数、見逃し数、誤通知数を表7に示す。睡眠・横たわりの状態の判断は乳幼児端末の分析要求も発行された保護者通知も適切に機能していた。特に人形での横たわり状態は見逃しや誤通知もないため、乳幼児が気を失い全く動かない状態については十分に検出できることが分かった。今回の実験では乳幼児端末での睡眠・昏倒閾値内に収まる加速度の継続が10秒間みられた場合にサーバに分析要求を送信したが、昏倒の場合は保護者への素早い通知が望ましいためこの監視期間を短くした場合に誤検知がないか検証し、問題がなければ乳幼児端末での監視時間を短縮すべきである。

次に走行状態の判定に関しては、誤検知が多かった(21件中6件)。これはその場で飛び跳ねる、弾力性のある遊具にまたがって遊ぶなどの行動が走行閾値を超え、且つ連続して衝撃を検出したためである。一方、実際に乳幼児が走行したにも関わらず検出されなかった場合も存在したが、閾値を下げると早歩きを走行と誤検知してしまう。転倒・転落状態の検出については人形による実験については適切に保護者への通知が行なわれた。このことから、乳幼児が転倒・転落後に身動きが取れない状況については十分に検

出できることがわかった。被験者による転倒状態では、見逃しはなかったものの保護者への誤通知が多くみられた。これも走行状態の誤通知と同様に遊具で跳ねて遊ぶ等の行動後に静止状態が続いた場合、転倒後動けないでいる状態であると判断してしまい誤通知してしまったと考えられる。

以上の結果から、睡眠・昏倒状態と転倒・転落後に乳幼児が動けなくなるケースについては本研究の手法で十分に検出・通知できることを示した。特に、転倒状態の誤検知については転倒閾値を超えた加速度を観測した後の行動を5秒間監視し、その間に静止状態が多く見られる場合は重度の転倒であると判断するように実装したが、軽度の転倒でも通知するケースが多かったため改善の余地がある。また、走行状態の誤検知については遊具に乗る・飛び跳ねる等走行時と同様に体に勢いがつく状態であったため、走行と同一視して保護者に注意喚起しても差し支えないと考える。

6. おわりに

本研究では、住宅内での保護者一名による乳幼児監護において自力で移動可能な乳幼児に起きるアクシデントを検知し保護者に通知する手法を提案した。また、提案手法に基づいて乳幼児の状態通知システムを試作し実験を行なった。実験結果の結果、本研究の手法で睡眠・昏倒状態、走行状態、転倒・転落状態の3つの状態を判定した結果、睡眠・昏倒状態と転倒・転落後に乳幼児が動けなくなるケース落状態については実際の行動に合致した保護者通知が行えることが分かった。走行状態と転倒状態については誤検知が多く改善の余地がある。

本実験では適切な閾値を設定するために予備実験で得られた被験者データを分析した結果適切であると判断した閾値を手動入力したが、利用ユーザへの負荷が高いことやシステムの利用までに時間がかかるという問題点がある。したがってより多くの被験者のデータを採取し、判別アルゴリズムや閾値の改善を行なうことが今後の課題である。

また、今回はローカルサーバを用いたが各家庭にサーバを設けることは現実的でないためサーバでの処理をクラウド上でを行い、各家庭ではAndroid端末の準備のみで本システムが利用可能になることが望ましい。サーバとしてクラウドを用いた場合通信遅延が発生するが、国内クラウド事業者を用いれば10数ms程度[14]であるので特に支障はないと考えられる。また、試作システムではHTTP通信を用いたが、ロバスト性向上のために他の通信プロトコルを検討することが今後の課題としてあげられる。

また乳幼児への端末装着負担を考えると監護者がそばにいる時は子供から端末を外すことが望ましいが、来客などで急にその場を離れる場合もある。そこで今後は素早く取り外しができる機構を考えるか、常時取り付けても乳幼児の負担にならないような小型・軽量・低発熱の端末が望

ましい。本実験では試作の都合でタブレット端末(約300g)を用いたがAndroid携帯(150g程度)を用いれば18ヶ月程度以上の幼児であれば支障はないと考えられる。月齢の低い乳児に対してはBluetooth接続のアクティビティセンサ(例:[15])だけを取り付ける方式が有用であると考えられる。行動判定に関しても、監護者が子供を抱き上げるなどして遊んだ動きを危険動作として警告しないような仕組みも必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 厚生労働省, 人口動態統計, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai13/dl/gaikyou25.pdf>
- 2) J.ウィニック 子どもの発達と運動教育 (大修館書店)
- 3) 国立保険医療科学院, "子供に安全をプレゼント事故防止支援サイト", 年齢別に多い事故, http://www.niph.go.jp/soshiki/shogai/jikoboshi/general/infomation/jiko0_1.html.
- 4) 東京消防庁, "救急搬送データから見る日常生活の事故", <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/lfe/topics/201310/nichijoujiko/data/all.pdf>
- 5) タカラトミー, デジタル安心ベビーモニタ 1WAY http://www.takaratomy.co.jp/products/babyonline/lineup/_1way.html
- 6) 日本育児, デジタルカラー スマートビデオモニタ II http://www.nihonikuji.co.jp/item/smart_video_monitor2.html
- 7) Sabri Boughorbel, Jeroen Breebaart, Fons Bruekers, Ingrid Flinsberg, Warner ten Kate, "Child-Activity Recognition from Multi-Sensor Data", International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research, Article No. 38(2010)
- 8) 平塚啓悟, 西田佳史, 山中龍宏, 溝口博, "乳幼児溺れ防止システムの開発", Digital Human Symposium (2009)
- 9) 新谷公朗, 金田重郎, 江守貞治, 幼児行動 記録作成システムへの取り組みー TVカメラとパッシブセンサによる幼児の行動追跡ー, 情報システムと社会環境(2003.3.14)
- 10) 渡邊孝文, 上坂大輔, 松村茂樹, 小林亜令 横山浩之, "気圧センサを利用した昇降状態を含む移動状態推定", 信学技報 MoMuC2011-30 (2011).
- 11) Nexus7(2012)技術仕様, https://support.google.com/nexus/answer/2841846?hl=ja&ref_topic=2841129
- 12) 齊藤昌久, 宮丸凱史他, "2~11歳児の走運動における脚の動作様式". 体育の科学 31(5), p356-361(1981)
- 13) 加藤謙一, 深川登志子, 大鈴貴洋, 宮丸凱史"幼児期における歩行から走運動への発達過程に関する追跡的研究", 体育学研究 54, p307-315(2009).
- 14) 齊藤 貴之, 先行事例で学ぶクラウド移行のススメ, 日経 NETWORK 2012年5月号 pp.96-99
- 15) Jawbone, UP by Jawbone, <https://jawbone.com/up>