

共生型健康支援システムにおける センサデータの効果的な獲得手法

小林有佑^{†1,†2} 和泉 諭^{†1,†2} 高橋秀幸^{†1}
菅沼拓夫^{†1,†2} 木下哲男^{†2,†3} 白鳥則郎^{†1,†2}

本研究では多数の対象者の健康状態を効果的に見守る、共生型健康支援システムの実現に向けて、データストリームマイニング技術に基づくセンサデータの効果的な獲得手法を提案する。提案手法により、センサから得られるデータをリアルタイムで解析して観測対象者の健康状態の推測を行い、その結果に基づいて各種センサのデータ獲得頻度を動的に調整することで、安定したセンサデータの獲得を可能にする。本稿では、提案手法の詳細について述べ、さらに実験を通してその有効性を示す。

An Effective Acquisition Mechanism of Sensor Data for Symbiotic Healthcare Support System

YUSUKE KOBAYASHI^{†1,†2} SATORU IZUMI^{†1,†2}
HIDEYUKI TAKAHASHI^{†1} TAKUO SUGANUMA^{†1,†2}
TETSUO KINOSHITA^{†2,†3} and NORIO SHIRATORI^{†1,†2}

We propose an effective acquisition mechanism of sensor data for a symbiotic healthcare support system which manages health conditions of multiple persons effectively. This method can dynamically control quality and quantity of sensor data acquired from various sensor devices based on the inference of object person's health condition from real-time analysis of data stream related vital information. In this paper, we show the detail of our proposed method and its effectiveness from experimental results.

1. はじめに

高血圧や肥満といった生活習慣病の人々が増加している現代において、その予防策が求められている。そのような背景から、Web、生体センサ、小型携帯端末、無線ネットワーク等、ITを活用した様々な健康支援システムの研究開発が進んでいる^{1)–8)}。これら既存の健康支援システムは、限られた数の利用者を対象にし、生体データを低頻度で獲得・活用するものが中心である。そのような背景のもと、我々は実空間からの様々なデータを取得・活用し、多数の利用者の健康状態を効果的に見守る、共生型健康支援システムの研究開発を行っている⁹⁾。

本稿では共生型健康支援システムの実現に向けて、現実空間からの効果的なデータを獲得する手法に焦点を当て議論する。従来の健康支援システムでは体調の変化を即時的に検出することが困難であり、心臓病や脳血管病などの突然の体調の異常に対応できないといった課題があった。また、ユビキタス情報環境下では機器の性能や無線ネットワークの帯域が限定的であるため、利用者数が数百名規模まで増加するとデータを効果的に獲得することが困難というスケーラビリティの点で課題があった。

本研究ではこれらの課題を解決するため、データストリームマイニング技術に基づくセンサデータの効果的な獲得手法を提案する。本提案手法は (S1) データマイニング技術に基づく観測対象者の健康状態の推測、(S2) マイニング結果に基づく使用センサおよびデータ獲得頻度の調整の2つから構成される。提案 (S1) では観測対象者の急激な身体の変化に対応するため、時間的に変化する生体データ、環境データを迅速に分析し、観測対象者の健康状態の「通常状態からの逸脱」を検出する。提案 (S2) では提案 (S1) の解析結果に基づき各種センサからのデータの獲得頻度を動的に調整する。異常状態を検出したセンサのデータ獲得頻度を高め、それ以外のセンサのデータ獲得頻度を抑制することで、観測対象者数が増加に伴う処理能力や記憶媒体・ネットワーク帯域のオーバーロード発生を防止しつつ、健康情報の推測・解析に必要なデータを効果的に獲得する。提案手法により、異常状態検出の即応性と観測対象者数のスケーラビリティの両面を同時に考慮した、共生型健康支援システムの実現を目指す。

†1 東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

†2 東北大学情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

†3 東北大学サイバーサイエンスセンター
Cyberscience Center, Tohoku University

さらに実験を通じて、本提案手法の有効性を確認する。実験結果より観測対象者の身体の異常に即応的に反応して生体・環境データを収集でき、また同時に利用者数の増加に伴って発生するセンサネットワークのボトルネックを解消し、必要な生体・環境データを遅延や欠損なく確実に獲得できることが明らかになった。従って、全体の獲得データ量の維持や、欠損の防止、システムにおける処理負荷の低減や記録容量の節約といった効果や異常を素早く認識し、医師の迅速な対応や、診断に用いる生体・環境情報の多量な獲得といった利点を得ることができる。

2. 関連研究と課題

2.1 関連研究

2.1.1 生体センサを用いた健康支援システム

Web や小型携帯端末等、IT 技術を導入した様々な形態の健康支援システムが存在する。本研究では、生体センサを用いて利用者の生体データを獲得・管理する健康支援システムを対象とし、その特性を整理し課題を抽出する。

生体センサを用いた健康支援システムの例として、AirSense¹⁾ に代表される、高精度・多機能な医療機器の開発と、それらと Web を連動した様々な健康支援サービスを提供するシステムが挙げられる。これらの取り組みの特徴として、医学的・科学的根拠に基づいた高品質なコンテンツやサービス提供が挙げられる。しかし生体データを用いた異常検出の観点では、生体データの解析は人手による日単位での解析・診断であるため、急激な健康状態の変化した場合など、異常状態の即応的な検出が困難である。

一方、Remote Management System²⁾ のようにセンサデバイスと携帯端末 (PDA) を用いて利用者の生体データをモニタリングするシステムが存在する^{3),4)}。これらシステムでは利用者はセンサデバイスにより生体データを計測する。計測されたデータは携帯端末に送られ、ある程度、携帯端末上で蓄積されたところで、測定データは携帯端末からシステムへ伝送される。これら研究では秒単位で利用者の健康状態をモニタリングしているが、生体データを用いた異常検出の観点では、数分から数時間の単位で携帯端末からシステムへ生体データが伝送され、分析が行われるため、急激な健康状態の変化した場合など、異常状態の即応的な検出が困難であるという課題が存在する。

さらに、センサネットワークを健康支援システムに適用した研究が存在する^{5),6)}。これら研究では生体センサや環境センサなど、様々なセンサノードが自立的にネットワークを構成し、複数のノードを経由して生体データや環境データがベースステーション (BS) を経由してシステムに送られる。測定された生体データが逐次、システムに送られるため、健康状

表 1 生体センサを用いた健康管理・支援システム

	分析タイミング	対象規模	観測期間	環境データ利用	知的機能	生体データ	通信方式
AireSense ¹⁾	× (日単位)	(~数十人)				脈波, 体温, 血圧, 歩行	有線接続 (USB), ZigBee
Remote Management System ²⁾	(分~時単位)	(~数十人)				脈波, 心電図	Bluetooth
Always-on Karte ⁶⁾	(秒~分単位)	(~数十人)				体温, 脈波, 心電図, 血圧	ZigBee, 独自プロトコル
LifeMinder ⁷⁾	(秒単位)	(~数十人)				脈波, 体温, 歩行	Bluetooth
健康博士 ⁸⁾	× (日単位)	(~100人)				心拍数, 血圧	Bluetooth
本研究	(秒単位)	(~100人)				脈波	ZigBee

態に異常をきたした場合も即応的に検出することができる。しかし、利用者の増加により扱うセンサノードが増加すると、BS やある特定のノードにデータが収集してしまい、その部分がボトルネックとなるという課題が存在する。

また、LifeMinder⁷⁾ に代表されるような、ウェアラブルなセンサデバイスを用いて利用者の生体データや位置データなどを獲得し、それらの一次データを分析することで利用者の行動や運動、異常状態を推定し、様々な支援を行う高度な健康支援に関する研究がある。これら研究では利用者の健康状態を即応的に解析し、どのような行動や状態であるかを高精度で認識しているが、多人数の利用に関しては限定的である。

健康博士⁸⁾ はユーザに合わせて健康に関する情報やアドバイスを的確に提供する知的健康支援システムの代表例である。このシステムはユーザの目標や健康状態に応じた適切な運動を健康アドバイスとして自動的に導出する。しかし、生体データの収集が運動時など限られた状況のみを想定しているため、日常生活において急激な健康状態の変化した場合など、異常状態の即応的な検出が困難であるという課題が存在する。

表 1 に既存の健康支援システムと本研究で提案するシステムについて、分析タイミングや対象規模等で比較したものを示す。本研究では、利用者に対して生体データを秒単位で解析することで、体調の異常状態を即応的に検出し、なおかつ多人数の利用者に対しても安定して値を獲得し続けて、利用者の日々の生活における健康状態を管理する健康支援システムの実現を目指していく。

2.1.2 共生型健康支援システム

我々は、生体データ、環境データ、映像データ等、現実空間からの多種多様なデータを効果的に獲得・活用した、共生型健康支援システムの研究を行っている⁹⁾。共生型健康支援システムの特徴として、家族、友人、近隣住民、カウンセラ、専属医師等、利用者を中心としたコミュニティによって利用者の健康を管理・支援する点が挙げられる。本支援システムでは、多数の利用者の生体データや周辺の環境データ、映像データなど現実空間から効果的に獲得した多種多様なデータと健康に関する知識を基にして、利用者の健康状態や要求、プライバシー等に応じた健康支援サービスを利用者自身やコミュニティに提供する。

共生型健康支援システムの実現に向けて、マルチエージェント技術を基盤とし、現実空間から効果的にデータを獲得するためのセンサネットワークの制御や、アドバイス生成のためのセンサデータと知識を組み合わせた推論処理、健康支援システム向けミドルウェア等の課題について取り組んでいる。本稿では現実空間から効果的にデータを獲得する手法に焦点を当てて議論する。

2.2 共生型健康支援システムにおける課題

前節で述べた関連研究から、多数の対象者の健康状態を見守る共生健康支援システムの実現のためには、以下の2点が課題として挙げられる。

(P1) 体調の異常状態を即応的に検出することが困難

本支援システムに対し、一定のデータ蓄積・学習期間を要する解析手法を適用した場合、秒単位で変化する健康状態への対応が困難である。具体的には、心臓発作や脳卒中といった運動時特有の急激な身体の異常変化を検出できない可能性がある。そのため、精度を保ちつつ、短間隔で高速に繰り返し実行できる解析手法が必要となる。

(P2) 利用者数が増加するとデータを効果的に獲得することが困難

ユビキタス情報環境では機器の性能や無線ネットワークの帯域は限定的である。従来の健康支援システムでは、利用者の増加に伴って解析システムの負荷が増大するため、処理のオーバーロード状態に陥る危険性があった。また大量データの流入により、情報伝達の遅延や計算機・ネットワーク資源の圧迫が避けられない。これらのことから、多数で利用する際に安定した生体データの獲得・伝送・格納を可能にする仕組みを新たに構築することが必要となる。

3. データストリームマイニング技術に基づくセンサデータの効果的な獲得手法の提案

3.1 提案手法の概要

2.2節で述べた課題を解決するため、本研究では、データストリームマイニングとセンサネットワークの流量調整を組み合わせることで、センサデータを効果的に獲得する「データストリームマイニング技術に基づくセンサデータの効果的な獲得手法」を提案する。図1に本手法の概要を示す。本手法は以下の2つから構成される。

(S1) データマイニング技術に基づく観測対象者の健康状態の推測

時間的に変化する生体データ、環境データを迅速に分析し、観測対象者の健康状態の「通常状態からの逸脱」を検出する。検出結果は次の提案(S2)に受け渡され、データ獲得頻度の調整のトリガーとなる。観測対象者の急激な身体の変化に対応するため、精度を保ちつつ短間隔で高速に解析する。これにより課題(P1)を解決する。

(S2) マイニング結果に基づく使用センサおよびデータ獲得頻度の調整

提案(S1)により検出された観測対象者の健康状態と、環境の状況、計算機資源・ネットワーク資源の負荷状況に応じて、各種センサからのデータの品質・獲得量を動的に調整する。多くのデータを獲得すると判断されたセンサのデータ獲得頻度を高め、それ以外のセンサのデータ獲得頻度を抑制することで、観測対象者数が増加に伴う処理能力や記憶媒体・ネットワーク帯域のオーバーロード発生を防止する。これにより課題(P2)を解決する。

提案(S1)、提案(S2)を組み合わせることで、即応性と観測対象者数のスケーラビリティの両面を同時に考慮した共生型健康支援システムを実現する。以降で提案(S1)、提案(S2)の詳細について述べる。

3.2 (S1) データマイニング技術に基づく観測対象者の健康状態の推測

3.2.1 本手法の概要

本手法では、観測対象者における「通常健康状態からの逸脱」を推測することを目的とする。本研究ではこれを観測対象者の健康状態の異常として定義する。推測には生体データの過去の発生頻度分布を参照し、現在の生体データ値が過去の高頻度に発生している値である場合には通常健康状態、低頻度に発生している値である場合には通常健康状態からの逸脱と推測する。図2に本手法の処理の流れを示す。本手法は大きく3段階に分かれており、前処理部でデータの変換、解析部でデータのクラスタリング、判定部で異常の判定を行う。

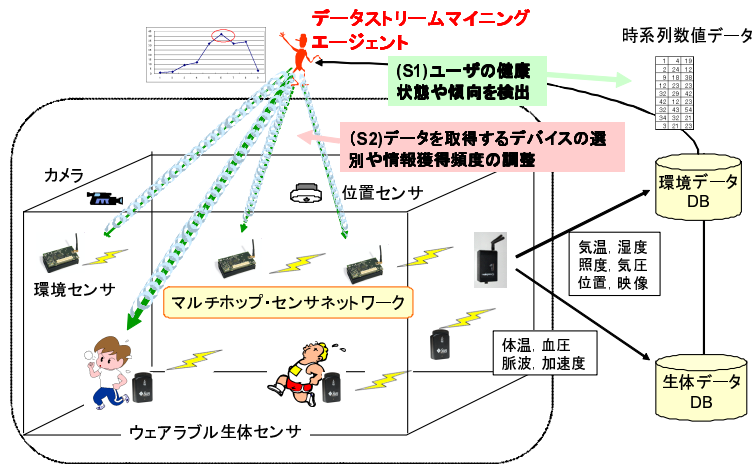


図 1 データストリームマイニング技術に基づくセンサデータの効果的な獲得手法の概要

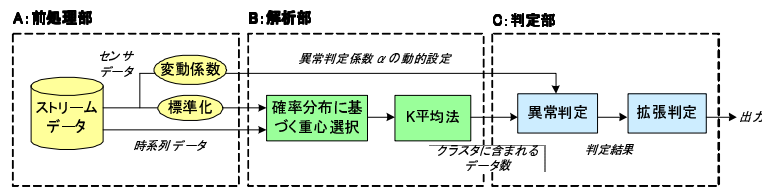


図 2 (S1) 健康状態推測の処理フロー

3.2.2 前処理部

前処理部は以下の 3 つの処理から構成される。

時系列に応じた獲得値の評価

解析部でのクラスタリングの項目に時系列を追加する。時系列は 0.0 ~ 1.0 の値で示され、対象データ群の中で最も新しい測定値が 1.0、最も過去の測定値が 0.0 として設定される。これにより時系列がより近い測定データが同一のクラスターに分類されやすくなる。

統計値を用いた異常判定係数 α の決定

ストリームデータの偏差 Z を異常判定係数 α の決定に用いる。これによりばらつきが大きいストリームデータほど異常判定の確率を高めることが可能となる。実際の対応は対象

データ毎に別途定める。

値の標準化

各生体データ項目の値を 0.0 ~ 1.0 の数値に標準化する。これにより異なる単位の生体データ項目の混在によるクラスタリング結果への影響を排除する。

3.2.3 解析部

次に解析部と判定部の処理を示す。解析部ではデータマイニングにより獲得データを複数のクラスターに分類する。次に、判定部で現在のデータがどのクラスターに分類し、正常状態であるか異常状態であるかどうかを判定する。図 3 にクラスタリングの例を示す。まず獲得データ数 N に基づき、生体データの現在の値と過去の値を獲得する (図 3(a))。重心の選択には、K-means 法を拡張した K-means++ 法¹¹⁾ を用いる。K-means++ 法とは、クラスターの重心の初期値を効率良く求めることで精度と実行速度を向上させたクラスタリング手法である。具体的には、1 個目の重心はランダムに選択し、2 個目以降の重心はそれまでに選択済みの中心と各個体の最小距離の確率分布によって選択する。その後、通常の K-means 法を用いて N 個の生体データを K 個のクラスター C_1, \dots, C_K に分類する (図 3(b))。

3.2.4 判定部

次に各クラスター内に含まれるデータの個数 n_1, \dots, n_K を計算する (図 3(c))。ここで閾値

$$T = \alpha \frac{N}{K} \quad (1)$$

を求め、 $n_x \geq T$ の場合は C_x を C_{normal} に、 $n_x < T$ の場合には C_x を $C_{abnormal}$ に分類する (図 3(d))。その後、生体データの現在値が C_{normal} に属する場合には通常の健康状態、 $C_{abnormal}$ に属する場合には異常状態として判定を出力する。最後に、拡張判定として判定結果の平滑化を行う。図 4 に拡張判定の例を示す。拡張判定では、解析対象期間の直近 20% 区間に対し、範囲に応じて 3 段階に検出結果を重み付けする。その合計値が一定値以上の場合に最終的に異常判定を行う。これにより検出結果の極端な変動を抑制することが可能になる。

以上の手法を用いることで、即応的に高精度で健康状態の異常を推測することが可能となる (P1 の解決)。

3.3 (S2) マイニング結果に基づく使用センサおよびデータ獲得頻度の調整

3.3.1 本手法の概要

本手法では、主に観測対象者の健康状態やネットワーク負荷状況に応じて、センサノードのデータ獲得頻度を調整することを目的とする。その要件として、対象ノードの決定と頻度の

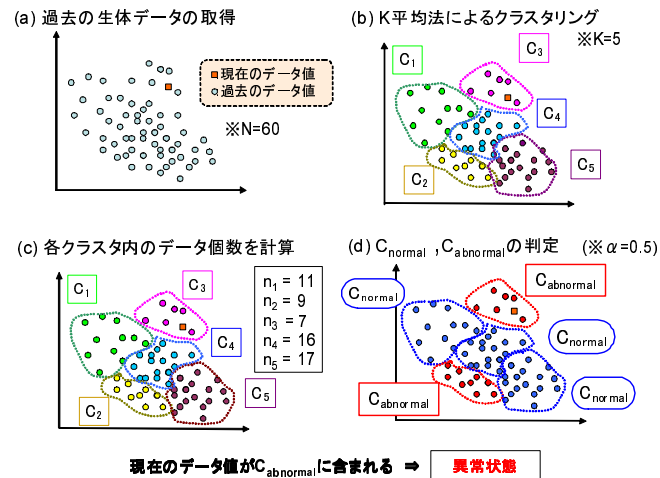


図3 クラスタリングの例

- (a) 利用者が正常な健康状態で運動している場合 ⇒ 生体モニタリング頻度：中，配信映像品質：低
- (b) 利用者が位置を移動した場合 ⇒ 近くのセンサの獲得頻度：高，その他のセンサの獲得頻度：低
- (c) 利用者の健康状態が正常でない傾向が見られた場合 ⇒ 生体モニタリング頻度：高，周辺環境データを獲得
- (c') 環境データから本当に健康状態の異常であると判断された場合 ⇒ 配信映像品質：高，警告提示

振舞い制御ルールの導入により，異常をきたした観測対象者の生体データの重点的な獲得や，計算機・ネットワーク資源の節約が可能となる．

3.3.3 センサネットワークの構成に基づいた調整

各センサノードの接続ノードの情報を獲得してネットワーク構成を把握し，ボトルネックとなっている箇所の獲得頻度を抑制することで，センサデータの遅延や損失を緩和することを目的とする．

図5にセンサネットワークのボトルネックの例を示す．この例では各センサノードにより獲得されたデータが他のノードを経由しながらベースステーション（BS）に送られている．このとき各センサのデータの獲得頻度が高い場合やノードが多数，存在する場合，BSにデータが収集してしまい，その部分でボトルネックが発生することが考えられる．このようなボトルネックを解消するため，随時ボトルネックの有無を監視し，必要に応じて各ノードの獲得頻度を調整する．例えば，通常時には全てのノードの獲得頻度をある一定の値に設定し，調整が必要であると判断された場合は，遠方ノードの獲得頻度を低下させ，再度ネットワークの状態を監視する．改善が見られない場合には更に獲得頻度を低下させる．またそれ以上獲得頻度を低下することができない場合には，周囲のノードや，集中ノードを対象とし，それらノードの獲得頻度を調整する．以上の処理をボトルネックが解消されるまで繰り返す．

この手法により，多人数が同時に利用した場合でもセンサネットワークの遅延や損失を抑制することが可能となる（P2の解決）．

4. 実装

本節では，提案手法の実装として使用するセンサとそれを用いて構築したプロトタイプシステムの構成について述べる．図6に構築したプロトタイプシステムの構成を示す．センサノードにはクロスボー社のMOTEを用いる¹²⁾．各センサノードはある一定の間隔で

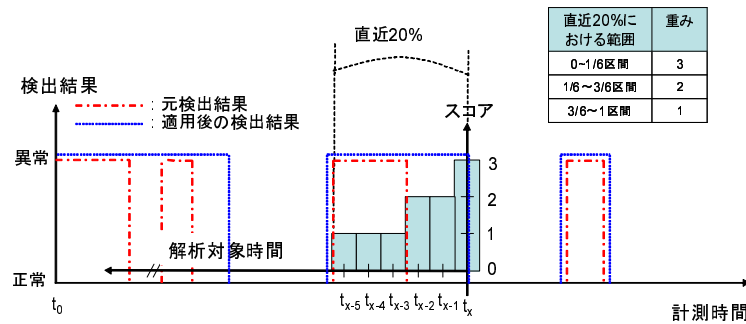


図4 拡張判定の例

決定が挙げられる．決定手段として，振舞い制御ルールによる手法と，センサネットワークの構成に基づいた手法の2種類を設定する．

3.3.2 振舞い制御ルールによる調整

提案(S1)の推測結果と各種センサの状況を利用し，各センサノードの獲得量の変更や選別を行うことを目的とする．以下に振舞い制御ルールの一部を示す．

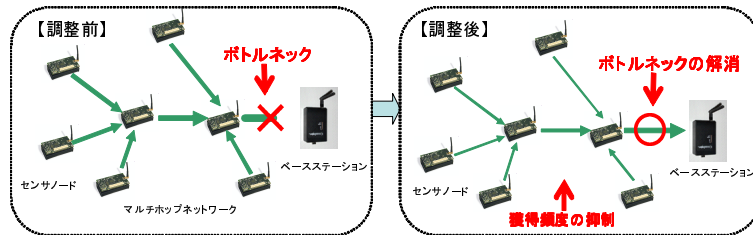


図 5 センサネットワークのボトルネックの例

データを獲得する。それらデータは必要に応じて他のノードを経由しながら、ベースステーション (BS) に送られる。BS に送られたセンサデータは、Mote Xserve (Xserve) で受信される。Xserve はクロスボー社が製作したデータの受信・解析・出力などを行うアプリケーションである。そのデータを Xserve パーサによって通常のストリームデータに変換し、ストリームバッファに蓄積する。同時に各種データベース (DB) にも格納する。ストリームバッファに蓄積されたストリームデータは、それぞれ提案 (S1) のデータマイニングプロセスと提案 (S2) の獲得頻度調整プロセスに受け渡される。

(S1) データマイニングプロセスでは、データ変換機能、クラスタリング機能、異常判定機能を経由し、最終的に現在のデータ値が通常であるか異常であるかが出力される。(S2) 獲得頻度調整プロセスでは、ネットワーク構成把握機能によって構成を認識、ネットワーク構成調整機能によりボトルネックになっているノードと調整対象ノードを決定する。一方、振舞い制御機能では (S1) データマイニングプロセスの異常判定機能から受け渡される判定結果に対して振舞い制御ルールを適用し、調整対象ノードと調整頻度などを決定する。これら 2 つの結果を組み合わせ、調整クエリ生成機能によって各ノードに対する変更命令が生成され、Xserve に送信される。Xserve は BS を経由して各センサノードにデータ獲得頻度の変更命令を送信し、それをセンサノードが受信することで獲得頻度の変更を行うことができる。

5. 実験と評価

5.1 実験概要

本節では、提案手法を実際の環境データやセンサネットワークに適用し実験を行い、その有効性について確認する。具体的には、「(S1) 健康状態の推測」と「(S2) 獲得頻度の調整」を組み合わせることで、センサネットワークのスケラビリティが向上することを確認する。

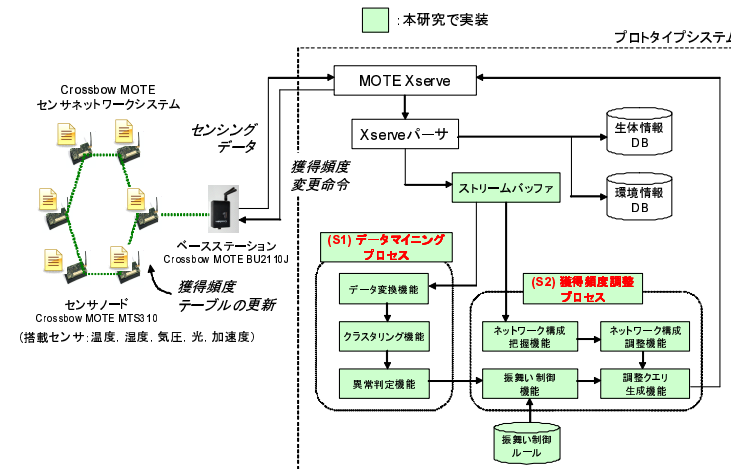


図 6 プロトタイプシステムの構成

本実験ではセンサノード 8 個を用いてセンサネットワークを構築し、以下に示す 4 つのシナリオに基づいて実験を行う。

シナリオ 1: ノード数に対する平均データ獲得率 (提案手法なし)

ノード数を増加させた時にデータ獲得数にどのような影響が生じるかを確認し、2 節で述べた課題を明らかにする。具体的には全てのノードを停止状態にし、1 つずつ順番にノードを起動する。起動したノードは環境データを獲得する。獲得された環境データはベースステーション (BS) へ送信される。この時、センサの獲得頻度 [回/秒] を 1, 1.25, 1.67, 2.5, 5, 10 とした時のそれぞれの BS でのデータ獲得数を計測し、データ獲得率を求める。

シナリオ 2: 低獲得頻度に固定した場合の各ノードのデータ獲得数 (提案手法なし)

全てのノードに対して低獲得頻度 (1/5[回/秒]) に固定した時の各ノードのデータ獲得数とデータ獲得率を計 5 分間、計測する。

シナリオ 3: 高獲得頻度に固定した場合の各ノードのデータ獲得数 (提案手法なし)

全てのノードに対して高獲得頻度 (5[回/秒]) に固定した時の各ノードのデータ獲得数とデータ獲得率を計 5 分間、計測する。

シナリオ 4: 獲得頻度を調整した場合の各ノードのデータ獲得数 (提案手法あり)

各ノードの対して約 10 秒間の環境変化を加える。これを本実験における「異常状態」と

定義する。この時、提案 (S1) により各センサノードに対して通常状態であるか異常状態であるかを検出し、その結果に基づき、提案 (S2) により各ノードの獲得頻度を動的に調整する。本実験では通常状態であるノードは獲得頻度を 1/5 に、異常状態であるノードは獲得頻度を 5 にするように設定した。この時の各ノードのデータ獲得数とデータの獲得率を計測する。

本実験におけるデータ獲得数とデータ獲得率は以下のように定義する。

データ獲得数 = ノードから送出されるデータの BS での獲得数 (レコード)

データ獲得率 [%] = データ獲得数 / (設定獲得頻度 × 計測時間) × 100

また、実験パラメータは以下の通りである。

- クラスタリングの対象となる環境データ：気温，湿度，照度，気圧，加速度
- $K = 5$ (経験的に設定)
- $\alpha = 0$ ($0 \leq Z < 20$), 1.5 ($20 \leq Z < 30$), 2.0 ($30 \leq Z < 40$), 2.5 ($40 \leq Z < 50$), 3.0 ($50 \leq Z$)
- クラスタリング対象時間：1 分

5.2 実験結果

シナリオ 1 の実験結果を図 7 に示す。図中、横軸はノード数を、縦軸は平均データ獲得率を表している。実験結果より獲得頻度が低い場合はノード数が増加してもデータ獲得率は維持し続けているが、獲得頻度が高くなるとノード数の増加に伴い、データ獲得率が低下することが確認できる。これは獲得頻度やノード数の増加に伴い、特定のノードや BS にデータが収集してしまい、ボトルネックが発生したためと考えられる。従って、各ノードに対して獲得頻度を調整することで、ボトルネックを解消する必要があると言える。

シナリオ 2 の実験結果を図 8 に示す。図は各ノードに対する獲得データ数 (理論値)、獲得データ数 (実測値)、並びにデータ獲得率を表している。実験結果より全てのノードを低獲得頻度に固定した場合、どのノードもデータ獲得率が低下することなくデータを獲得することができた。しかしその一方で、全体の獲得データ量はそれほど多くはなく、10 秒間で 2 個程度のデータしか獲得できなかった。

シナリオ 3 の実験結果を図 9 を示す。図はシナリオ 2 と同様、各ノードに対する獲得データ数 (理論値)、獲得データ数 (実測値)、並びにデータ獲得率を表している。実験結果より全てのノードを高獲得頻度に固定した場合、低獲得頻度と比較して全体のデータ獲得数は大きく上昇したが、各ノードに対するデータ獲得率は減少した。この際、全てのノードに対してデータ獲得率が平均的に減少するわけではなく、ある特定のノードに対してデータ獲得率が著しく低下し、データがまったく獲得できなくなる傾向にあることがわかった。

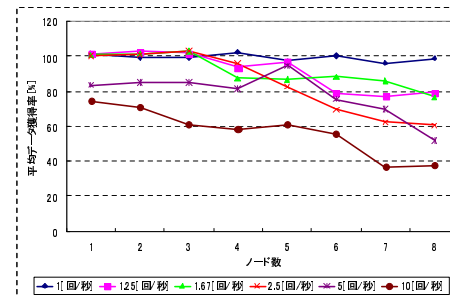


図 7 ノード数に対する平均データ獲得率の推移

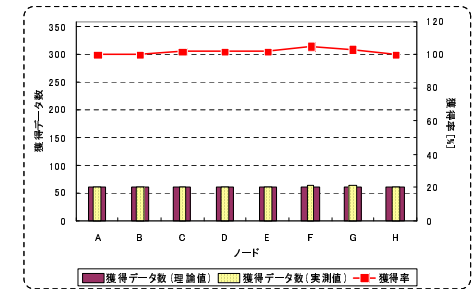


図 8 低獲得頻度に固定した場合の各ノードのデータ獲得数

シナリオ 4 の実験結果を図 10 に示す。図はシナリオ 2, 3 と同様、各ノードに対する獲得データ数 (理論値)、獲得データ数 (実測値)、並びにデータ獲得率を表している。実験結果より環境変化を加えたノード (ノード A, B, C, D, G, H) に対しては異常状態を検出し、高頻度でデータを獲得し、それ以外のノード (ノード E, F) に対しては低頻度でデータを獲得していることを確認できた。さらに、どのノードもデータ獲得率が低下しておらず、安定してデータを獲得していることを確認できた。この時、環境変化を加えた 1~5 秒後に異常状態を検出しており、即応的に異常状態を検出することができた。

また、シナリオ 2, 3, 4 のそれぞれのデータ獲得率と異常発生時のデータ獲得数を表 2 に示す。表から低獲得頻度の場合、データ獲得率は 100% を超える値を示したが、異常発生時のデータ獲得数は 2 データ/10 秒に留まった。従って異常状態が発生しても、その原因推定となるデータを十分に確保することができない場合が考えられる。

高獲得頻度の場合、異常発生時にデータはある程度、確保できるがデータ獲得率が低く、特に特定のノードからデータを獲得できなくなる傾向があるため、異常発生時の検出ができなくなる可能性がある。

提案手法では異常状態を検出したノードのみを集中してデータを獲得する可能となり、ノード数が増加した場合でも、データ獲得率を維持したまま効果的にデータを獲得することができた。

5.3 考察

前節で示した実験結果を基に、提案手法を実際の健康支援システムに適用した場合の利点を考察する。

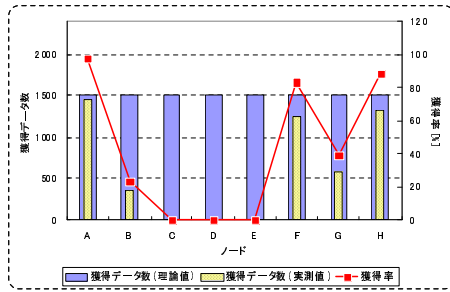


図 9 高獲得頻度に固定した場合の各ノードのデータ獲得数

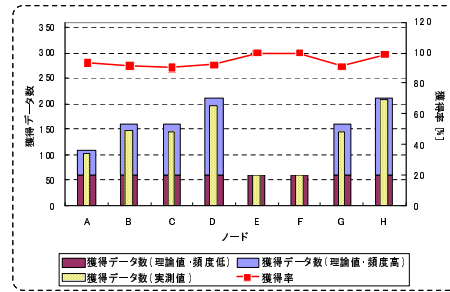


図 10 提案手法を適用し獲得頻度を調整した場合の各ノードのデータ獲得数

表 2 実験シナリオごとのデータ獲得率と異常発生時のデータ獲得数

実験結果	データ獲得率	異常発生時のデータ獲得数
シナリオ 2: 低獲得頻度 (提案手法なし)	(平均 106.7%)	× (平均 2 データ/10 秒)
シナリオ 3: 高獲得頻度 (提案手法なし)	× (平均 41.4%)	(平均 20.7 データ/10 秒)
シナリオ 4: 獲得頻度を調整 (提案手法あり)	(平均 94.9%)	(平均 46.2 データ/10 秒)

クラスタリングの対象を生体データにすることで、提案 (S1) により、体調に急激な変動が見受けられた場合でも、その異常状態を即応的に検出すること可能となる。さらに、利用者数が増加しても、異常が見受けられる利用者からのデータを集中して獲得することで、センサネットワーク上のボトルネックを軽減し、必要な健康情報の欠損を防ぐことができると考えられる。このことから、健康支援システムで利用するために十分な量の健康情報の獲得することが可能であることを確認し、異常状態検出の即応性と観測対象者数のスケラビリティの両面を同時に考慮した健康支援システムの実現が期待される。

6. おわりに

本研究では、多人数の対象者の健康状態を効果的に見守る共生型健康支援システムの実現を目的とし、データストリームマイニング技術に基づくセンサデータの効果的な獲得手法を提案した。さらに実験により、本手法を用いることで深刻な体調急変にも即応的に対応し、利用者数が増加しても現実空間からデータを効果的に獲得できることを確認した。

今後の課題としては、生体センサを導入し、実際に生体データを対象とした実験を行うと共に、クラスタリングに用いる設定パラメータの妥当性の検証や、獲得頻度調整アルゴリズム

の拡張 (例えば、センサノードにおける獲得頻度の自立制御) 等が挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省知的クラスター創成事業第 2 期「先進予防型健康社会創成クラスター構想」、および日本学術振興会科学研究費補助金 (19200005) の援助を受けて実施した。

参考文献

- 1) 日立評論, Vol. 89, No. 12, 2007.
- 2) Cruz, D., and Barros, E.: Vital Signs Remote Management System for PDAs, *Proceedings of the 2005 8th Euromicro Conference on Digital System Design*, pp.170-173, (2005).
- 3) Leijdekkers, P., Gay, V., and Barin, E.: Trial Results of a Novel Cardiac Rhythm Management System Using Smart Phones and Wireless ECG Sensors, *Proceedings of the 7th International Conference on Smart Homes and Health Telematics (ICOST 2009)*, LNCS Vol.5597, pp.32-39 (2009).
- 4) Kuriyama, D., Izumi, S., Itabashi, G., Kimura, S., Ebihara, Y., Takahashi, K., and Kato, Y.: Design and Implementation of a Health Management Support System Using Ontology, *Proceedings of the International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2007)*, pp.746-749 (2007).
- 5) <http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h21/090511/090511-1.html>.
- 6) Uehara, Y., Uchiyama, T., Mori, M., Saito, H., and Tobe, Y.: Always-on Karte: A System for Elderly People's Healthcare Using Wireless Sensors, *3rd International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2006)*, (2006).
- 7) Ouchi, K., Suzuki, T., and Doi, M.: LifeMinder: A Wearable Healthcare Support System with Timely Instruction Based on the User's Context, *IEICE Transaction on Information and Systems*, Vol.E87-D, No.6, pp.1361-1369 (2004).
- 8) 和泉諭, 加藤靖, 高橋薫, 菅沼拓夫, 白鳥則郎: オントロジを利用した健康支援システムの提案とその評価, *情報処理学会論文誌*, Vol.49, No.2, pp.822-837 (2008).
- 9) Takahashi, H., Izumi, S., Suganuma, T., Kinoshita, T., and Shiratori, N.: Design and Implementation of Healthcare Support System based on Agent-based Framework, *Proceedings of The 4th International Conference on Ubiquitous Information Technologies & Applications (ICUT 2009)*, pp.213-218 (2009).
- 10) Symbiotic Computing Home Page, <http://symbiotic.agent-town.com/>.
- 11) Arthur, D., Vassilvitskii, S.: k-means++: The advantages of careful seeding, *Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, pp.1027-1035 (2007).
- 12) センサネットワーク MOTE Official Page, <http://www.xbow.jp/motemica.html>.