Vol.2014-DPS-160 No.7
2014/7/25

知識処理を外部に委託可能なセンサノードを用いたシステムの検討

清水 遥[1,a)]　今井 信太郎[1]　新井 義和[1]　猪股 俊光[1]

概要：大量のセンサデータを扱うシステムの場合、記憶リソース、処理リソース、ネットワークリソースなどを適切に管理し利用する必要がある．これらのリソースは有限であり、センサノードで取得可能なすべてのデータを取得した場合、リソースの不足により必要なデータを失うことによるデータの質の低下が発生する．これに対しては、センサノードで知識処理を行うことによって、ノード自身が適切な取得データ量を判断することが有効である．しかし、計算能力の低いセンサノードではそれは困難である．そこで、本研究では必要な知識処理をセンサノードが外部に委託可能なシステムを提案する．システムではセンサを用いた行動推定システムを例とし、本システムの有効性を検証する．

1. はじめに

近年，多数のセンサノードを用いて，実空間に存在する人間や物体から様々なデータを取得し，そのデータを利用した多様なサービスが提案されている．このようなサービスの例として，健康支援システムや侵入者検知システムがあげられる．これらは，観測対象となる人や環境にセンサを取り付け，加速度や温度などのデータを取得し，それらのデータを解析・処理することにより，利用者に対象者の健康状態や自宅侵入者の有無などの情報を提供する．しかし，このようなセンサシステムでは，センサノードや利用者の増加に伴い，全体で取得するセンサデータ量が増大する．そのため，ネットワークに送信されるデータ量も増大し，インターネットなどの外部ネットワークに大きな負荷がかかるという問題がある．

この問題に対して，センサノードの近傍に存在するホスト (中間ホスト) におけるセンサデータ処理に関する提案がされている [1]．この手法では，センサノードが高頻度で取得するデータを中間ホストで解析・処理し，必要に応じて処理結果を外部ネットワークに送信する．これにより，外部ネットワークへ送信するデータ量を削減し，負荷の軽減が可能となる．また，中間ホストで解析・処理を行うシステムにおいて，サービスの内容やシステムの環境の変化を考慮し，柔軟に解析・処理場所を移動する手法の提案もされている [2]．この手法では，機器の性能やシステムの環境の変化を検知し，システムが自動的にセンサデータの解析・処理場所を適切に移動する．適切なデータの解析・処理場所は，各機器の記憶リソースや処理リソース，ネットワークリソースなどの情報をもとに，センサノード，中間ホスト，外部ホストの中から判断される．これにより，機器への過剰な処理負荷の軽減や消費電力の削減が実現される．これら従来の研究では，センサノードが自身でデータを処理・解析するだけの計算処理能力を持つことを前提としていた．しかし，センサシステムが扱うセンサデータは多様であり，センサノードの中には高い計算処理能力を持たない低性能なセンサノードも存在すると考えられる．

以上の背景から，本研究では，センサノードとノード近傍の端末が自律的・協調的に取得するべきデータの種類や量を判断することで，リソースを有効に活用したデータ取得の行えるシステムの実現を目的とする．この目的を実現するため，本研究では，知識処理を外部委託可能なセンサノードを用いたセンサシステムを提案する．提案手法によって，計算能力の低い機器が自身で処理できない知的処理を計算能力の高い外部機器に委託できる仕組みが構築される．それにより，計算能力の低いセンサノードが含まれるシステムにおいても知識処理を可能とし，使途や性能の異なるセンサノードが個々の環境の変化によって適切なデータの量や種類を柔軟に変更し，センサデータの損失防止や局所的な処理負荷の集中を防ぐことが可能となる．

本稿では，2 節で対象とする環境，システムに対する機能要件，関連研究および提案手法について述べ，3 節では提案手法の設計について述べる．4 節では試作したシステムと動作検証について述べる．最後に 5 節でまとめを述べる．

1 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科
Iwate Prefectural University Graduate School of Software and Information Science
a) g231l017@s.iwate-pu.ac.jp

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

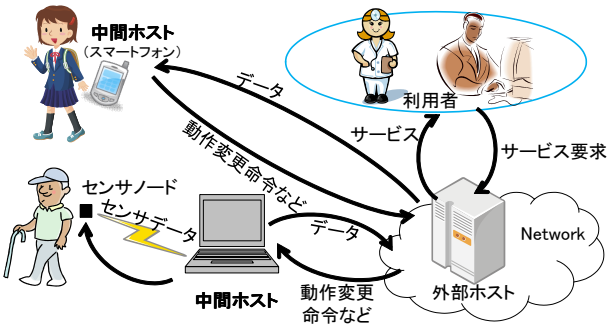

図 1 中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理手法の概要

2. 知識処理を外部に委託可能なセンサノードを用いたシステム

2.1 関連研究

近年，センサの小型化や低コスト化に伴い，複数のセンサノードが存在する環境におけるセンサデータの管理手法に関して様々な提案がされている．大喜らは，処理対象の情報源を動的に選択可能な分散ストリーム処理管理システムを提案している [3]．この研究では，対象情報源の変化に合わせて各ストリーム処理エンジンが行う処理を動的に組み替えることで，ネットワーク使用量の最適化を実現している．また，センサデータを意味的に把握し，演繹的に状況判断の結果を導出するシステムも提案されている [4]．このシステムでは，センサデータの意味的解釈と仮想センサを用いることにより，冗長的な処理の抑制やネットワークへの負荷の軽減を実現している．エージェント技術を用いてセンサデータを管理する手法も多数提案されている．吉田らは，広域に分散したセンサノードの操作と探索を実現するためのエージェントベースの P2P プラットフォームを提案し，多様な環境に適応可能なセンサシステムを実現している [5]．

また，センサデータの解析・処理場所に関し，センサノードにおいてデータ・解析処理を行う手法とセンサノードで取得したデータを外部のホストコンピュータに送信し解析・処理を行う手法が数多く提案されている．センサノード上でデータ解析・処理を行う研究として，センサノードで取得した加速度データを 4bit 信号に変換して送信する研究 [6] などがある．センサノード上では処理が困難とされる高度な計算を外部のホストで解析・処理する研究は，加速度センサから取得されるデータを外部のホストで識別器の Support vector machine を用いた処理を行う研究 [7] があげられる．これらの研究では，センサデータの処理場所は予め決められている．しかし，センサシステムにおける機器のリソースや環境は常に変化するため，決められた処理場所では環境変化に柔軟に対応することは困難であると考えられる．これに対し，センサノードの設定を動的に変更可能とした動作制御方式が提案されている [8]．この方式では，加速度センサが動作や状態によって定められたルールに基づき動作を動的に変更する．これにより，センサデータをセンサノードと外部ホストのどちらにおいてもデータ解析・処理することが可能となる．

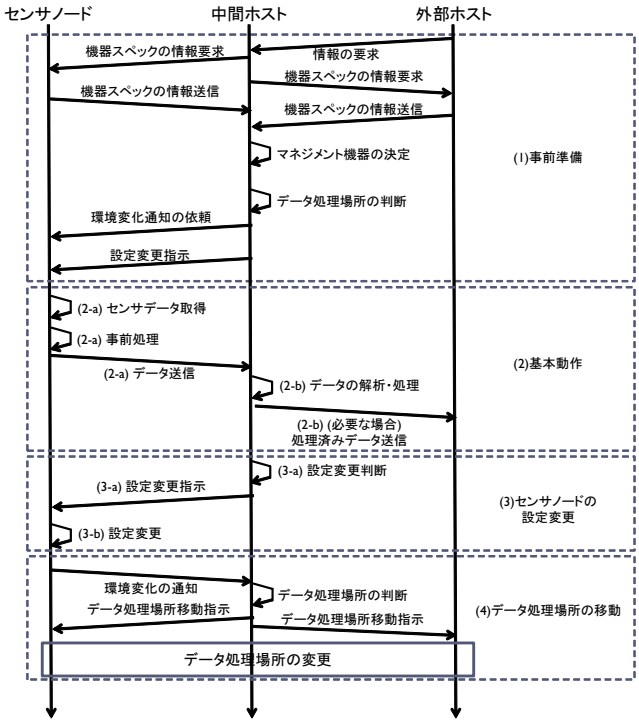

図 2 自律的に処理場所を変更可能なシステムの処理の流れ

2.2 対象とする環境

中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理 [1] では，内部ネットワークと外部ネットワークを区別している．内部ネットワークはセンサデータやセンサノードへの設定変更指示などのようなセンサシステムに関係した通信だけのネットワークであり，具体的には，センサノード間やセンサノードと基地局間のネットワークである．外部ネットワークは，インターネットや一般的な LAN などである．サービスを統括するホストコンピュータは外部ネットワークに存在する．本研究はこの環境を対象とする．

また，本研究では，スマートフォン等の高性能のセンサノード，複雑な処理が困難な低性能のノード，センサデータの取得とその送信のみに特化したノードなど，様々なノードが内部ネットワークに混在する環境を想定する．

2.3 中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理の概要

本研究では，筆者らのグループが提案したセンサノードの近傍に存在するホスト（中間ホスト）を用いたセンサデータ解析・処理手法とセンサデータ解析・処理場所の自律的な変更を可能とする手法 [1], [2] を基に，リソースを有効に活用したデータ取得の可能なシステムの実現を目指す．

中間ホストを用いたセンサシステムにおいて，システム

のサービス内容や環境の変化に柔軟に対応可能なデータ解析・処理場所を自律的に変更する手法 [2] では，まずデータ解析・処理の変更処理を管理する機器（マネジメント機器）を設定し，センサデータの解析・処理場所を各センサノード，中間ホスト，外部ホストの中から適切な処理場所を選択する．データ解析・処理場所の判断は，機器のリソースや環境の変化を基にしており，判断に必要な情報はマネジメント機器が各機器へと要求する．中間ホストを用いたセンサシステムにおけるセンサデータ解析・処理場所を自律的に変更する手法の処理手順を図 2 に示す．処理手順は，事前準備，基本動作，センサノードの設定変更，データ処理場所の移動の 4 フェーズからなる．基本動作では，中間ホストがセンサノードが取得したデータを設定された間隔で受信し，データの解析・処理を行う．解析・処理されたデータは，中間ホストから外部ホストに必要に応じて送信する．センサノードの設定変更では，中間ホストがあらかじめ決められている条件とセンサデータの解析結果を基に設定変更判断を行う．設定変更が必要な場合にセンサノードに設定変更指示をする．事前準備では，外部ホストがサービスに必要な情報を中間ホストに要求する．中間ホストは情報要求を受け取り，センサノードと外部ホストに使用可能なリソース情報を要求する．各機器からリソース情報を受け取った中間ホストがマネジメント機器を決定する．マネジメント機器となった機器は，データ解析・処理場所判断と環境変化通知の依頼，設定変更指示などの処理を行う．データ処理場所の移動では，マネジメント機器が環境変化の通知を受け取ることでデータ処理場所の判断を開始し，処理場所が決定すると各機器にデータ処理場所移動指示を行う．

2.4 提案システム

本研究の目的は，センサノードとノード近傍の端末が自律的・協調的に取得するべきデータの種類や量を判断することで，リソースを有効に活用したデータ取得の可能なシステムの実現である．この目的を実現するため，本研究では，低性能なセンサノードが存在する環境においても各センサノードが知識処理を用いた処理判断を可能とする，必要な知識処理を外部委託可能なセンサシステムを提案する．図 3 に提案手法の概要を示す．提案手法では，サービスのためのセンサノードおよび中間ホストの組織構成時に各デバイスの性能情報を交換する．これにより，センサノードでデータ処理をおこなうことが適切であっても性能面でそれが困難な場合に，中間ホストや他のセンサノードが代わりに知識処理を行うなどの対応が可能になる．本研究では，以上の機能を実現するため，P2P プラットフォーム PIAX [9] を用いる．PIAX はマルチオーバレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォームである．図 3 に提案手法の概要を示す．

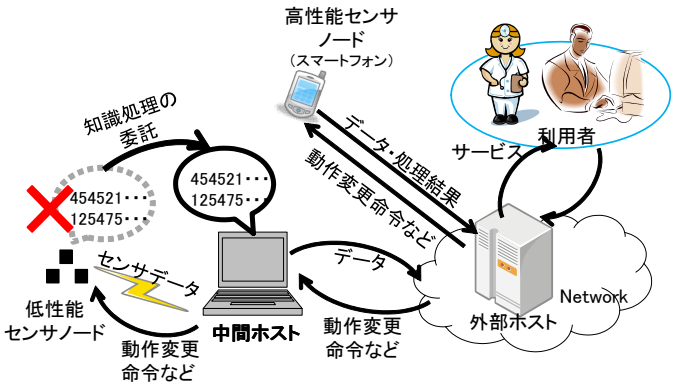

図 3 提案手法の概要

3. 設 計

3.1 提案手法の動作設計

本提案手法では，必要な知識処理を外部委託可能なセンサシステムを実現するために，図 2 に示した中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理場所を自律的に変更する手法 [2] を改良する．図 4 に提案手法の動作の流れを示す．

(1) 初期動作

利用者からのサービス要求を受けた外部ホストは，そのサービスの提供に必要な情報を判断し，通信可能な中間ホストに対して Contract Net Protocol (CNP)[10] を用いて情報送信を要求する．CNP を用いることにより，サービスの提供のための利用可能な機器の把握やセンサノードおよび中間ホストの組織構成を行う．また，この要求には，必要な情報を導出するために用いられるデータの種類に関する情報を追加する．例えば，サービスの提供に利用者の動作情報が必要であれば，加速度データや角速度データなどの要求も含まれる．要求を受信した中間ホストは，通信可能なセンサノードに対してその要求を転送する．このとき，センサノードからの返信は，以下の 4 通りが考えられる．

(i) CNP に対応可能なセンサノードで要求された情報を提供できる場合：センサノードは中間ホストからの CNP に対して入札を行う．このとき，センサノードは自身のスペック情報を中間ホストに通知する．

(ii) CNP に対応可能なセンサノードで要求された情報は提供できないが必要なデータは提供できる場合：センサノードは中間ホストからの CNP に対して入札を行う．このとき，センサノードは，自身のスペックとデータ処理ができないことを中間ホストに伝達する．これが実質的にセンサノードから中間ホストへの知識処理の依頼となる．

(iii) CNP に対応可能なセンサノードで要求された情報やデータを提供できない場合：センサノードは入札を行わない．

(iv) CNP に対応不可能なセンサノードの場合：センサノー

ドは情報を提供可能であっても CNP に対して入札することはできないが，中間ホストはノードから送信されてくるデータに基づき情報提供の可否を判断することが可能である．このため，情報提供に必要なデータを取得可能なノードであった場合，中間ホストは知識処理のできないノードであるという情報を付加した上で入札のあったものとしてこのノードを扱う．

中間ホストは，センサノードからの入札に基づいて自身の外部ホストへの入札の可否を判断し，必要な情報を提供可能であれば入札を行う．このとき，センサノードから得たスペック情報に自身のスペック情報を加えて外部ホストに送信する．

外部ホストは中間ホストからの入札に基づきサービスを提供するための中間ホストやセンサノードの組織を決定する．そして，外部ホストは入札時に得られた中間ホストとセンサノード，自身のスペック情報に基づき各デバイスへのタスク割り当てを行う機器（マネジメント機器）を決定する．マネジメント機器は，デバイスやネットワーク，サービス内容などの環境変化の通知に基づくタスク再割り当ても担当する．マネジメント機器は通常外部ホストが担当することが想定されるが，外部ホストの負荷やスペック，ネットワーク負荷によっては中間ホストや高性能センサノードが担当することが適当な場合も考えられる．マネジメント機器の決定方法は後述する．図 4 では外部ホストがマネジメント機器と決定された場合の提案手法の流れを示す．

マネジメント機器は，各デバイスのスペック情報とセンサノードからのデータ処理の可否の情報からタスク割り当てを決定し，各デバイスに通知する．例として，中間ホストへのセンサデータ解析・処理タスクの割り当てと通知などが考えられる．マネジメント機器は，タスク通知と同時に，マネジメント機器の再決定とタスク再割り当てのトリガとなる環境変化通知の送信基準を各デバイスへ通知する．中間ホストは，割り当てられたタスクに基づきセンサノードにデータ送信間隔などの設定を指示する．

(2) 基本動作

センサノードは中間ホストからの指示に基づきデータを取得し，中間ホストに送信する．中間ホストは，タスク分割に基づきセンサデータを解析・処理し，その結果を外部ホストに送信する．

(3) センサノードの設定変更

中間ホストは，自身に割り当てられたタスクとセンサノードから受信したデータに基づき，必要な場合にセンサノードに設定変更を指示する．一例として，加速度データを受信しており観測対象の動作が少ない場合に，データ送信間隔を広げる指示を出すことなどが考えられる．

(4) マネジメント機器の再決定とタスク再割り当て

(1) 初期動作で設定した環境変化通知の送信基準が各デバイスで満たされた場合，そのデバイスはマネジメント機器に対して環境変化通知を送信する．このとき，センサノードからの環境変化通知は中間ホストが中継する．環境変化通知を受信したマネジメント機器は，後述する (1) 初期動作と同様のマネジメント機器の決定とタスク割り当て処理を再度行う．

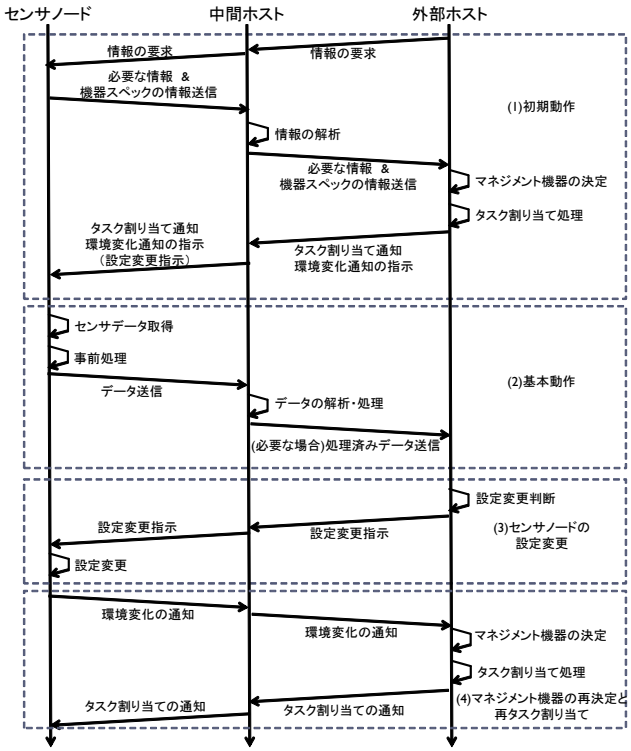

図 4 提案手法の動作の流れ

3.2 タスク割り当ての基準

3.1 節で述べた (1) 初期動作と (4) マネジメント機器の再決定とタスク再割り当てにおけるタスク割り当てでは，主にセンサノードで取得したデータをどこで解析・処理し，必要な情報にするかが重要である．本提案手法では，センサデータ解析・処理場所に自律的に変更するシステム [2] の解析・処理場所の移動判断を基にタスク割り当てを行っている．この研究では，以下の 6 種類の状況からセンサデータ解析・処理場所を決定する．

(E1) 中間ホストとセンサノードのネットワーク構成
(E2) センサデータ解析・処理の内容
(E3) システムが蓄積すべきセンサデータ量
(E4) 各デバイスの使用可能なリソース
(E5) 各デバイスの電力残量
(E6) 中間ホストと外部ホスト間のネットワーク環境

マネジメント機器は初期動作で得た各デバイスの情報や環境変化の通知により，適宜必要とされる処理が実行されるのに適した処理場所を判断し，タスク割り当てを行う．

センサデータ解析・処理場所の判断例として，従来研究

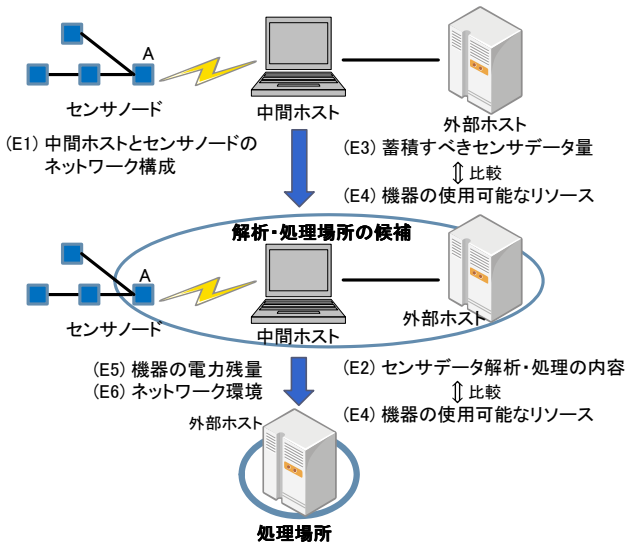

図 5 センサデータ解析・処理場所の判断の例 [2]

からの引用図 5[2] を示す．

3.3 マネジメント機器の決定

本提案手法では，3.1 節で述べた (1) 初期動作と (4) マネジメント機器の再決定とタスク再割り当てで行うマネジメント機器の決定に，3.2 節で述べた (E1) から (E6) と同様の判断項目を用いる．

まず，(E1) 中間ホストとセンサノードのネットワーク構成からデータが集約されるデバイスおよびそれ以降のデバイスの抽出を行う．これにより，データ取得のみに特化したセンサノードなどの知識処理が困難なセンサノードをマネジメント機器の候補から除外する．そして，残った候補の中で (E6) 中間ホストと外部ホスト間のネットワーク環境，(E5) 各デバイスの電力残量を比較し，ネットワークの障害の有無やデバイスの電力不足の可能性を判断する．この決定手順で抽出されたデバイスをマネジメント機器とする．

4. システムの試作と動作検証

4.1 試作環境

本研究の提案手法である必要な知識処理を外部委託可能なセンサシステムの検証を行うための簡易システムを試作し，その動作検証を行った．試作環境を図 6 に示す．今回の試作システムでは，筆者らの作成した加速度データの取得と送信のみに特化したセンサノード (図 7) を用いる．このセンサノードは，3.1 節で述べた CNP に対応不可能なセンサノードに該当する．センサノードは一定時間間隔ごとに加速度を取得し，値を中間ホストに接続された受信機へと送信する．センサノードと中間ホストのデータ通信は XBeeZB モジュールによる Zigbee ネットワークを使用する．中間ホストと外部ホストは一般的な PC である．これらは，それぞれ 100Mbps のイーサネットで LAN に接続されている．また，システムのプログラムは Java1.7.0_55 で実装した．

動作検証では，観測対象者にこのセンサノードを取り付け，そのセンサノードが取得した値から「静止」，「歩行」，「階段」の 3 種類の動作を推定し，推定結果を外部ホストに提供する動作推定システムを想定する．また，動作推定処理には従来研究 [2] を参考にした推定処理を用いる．

具体的には，3 軸加速度センサの値の変化の和が 0.3G 未満である場合，観測対象者が「静止」状態であると推定する．また，x 軸（上下方向）と y 軸（左右方向）の加速度の値の変化の和が 0.5G 以上である場合，観測対象者が「階段」状態であると推定し，それ以外の場合に観測対象者が「歩行」状態であると推定する．

4.2 動作検証

本稿では，3.1 節で述べた提案手法の (2) 基本動作と (3) センサノードの設定変更の試作したセンサノードにおける動作検証について述べる．

検証では，低性能な加速度センサノードが中間ホストに対してデータを送信し，中間ホストにおいて動作推定処理を行い，その結果を外部ホストに送信する．この時のマネジメント機器は外部ホストとする．検証では観測対象者は歩行と静止を交互に繰り返し，中間ホストは利用者の状態に基づいてセンサノードに設定変更を指示する．

具体的な手順を以下に示す．

- 共通設定
  検証開始時には，加速度センサノードは 100ms 間隔でデータを取得し，中間ホストに送信する．データを受け取った中間ホストは動作推定処理を行い，推定結果を外部ホストに送信する．
- 中間ホストは，観測対象者が 5 秒以上「静止」状態であると判定した場合に，センサノードに取得間隔を 1 秒間隔にするよう設定変更を指示する．
- 設定変更後，再び観測対象者が動作を開始した場合，中間ホストが動作開始を検知し，センサノードに取得間隔を 100ms にするよう設定変更を指示する．

加速度センサノードを腰部に取り付けた観測対象者は，30 秒の歩行と 30 秒の静止，再度の歩行を行う．

動作検証の結果，中間ホストが受信した加速度データを図 8 に示す．グラフから，設定のとおり利用者が静止状態になるとセンサデータの受信間隔が大きくなり，再び動作を開始すると受信間隔が元に戻ることが読み取れる．

今後は，提案手法の評価のため，3.1 節で述べた (1) 初期動作，(4) マネジメント機器の再決定とタスク再割り当ての詳細な設計，異なるスペックのセンサノードの作成，提案手法を実装したプロトタイプシステムの作成，プロトタイプシステムを用いた提案手法の有効性の評価を行う予定である．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

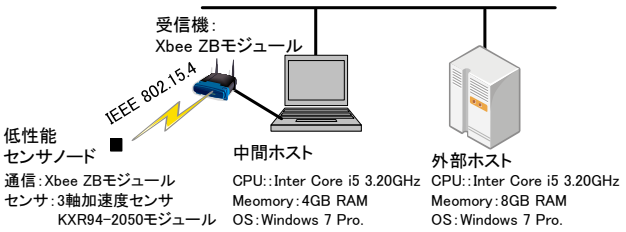

図 6 試作環境

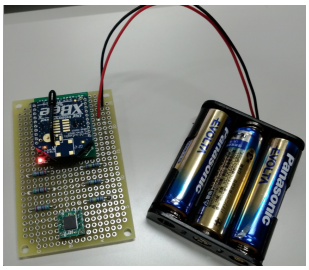

図 7 試作したセンサノード

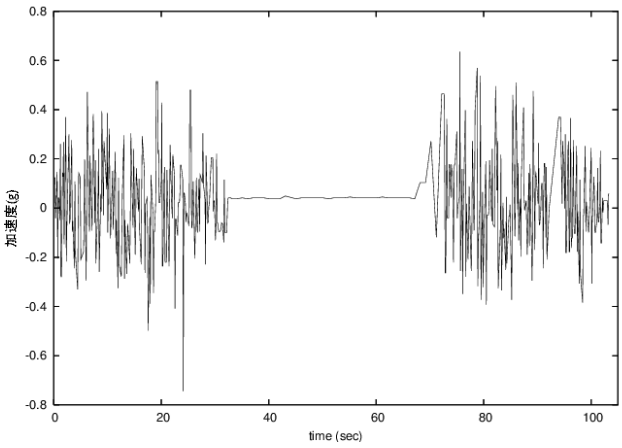

図 8 x 軸の加速度

5. おわりに

本論文では，多様なセンサノードが存在するセンサシステムにおいて，センサノードとノード近傍の端末が自律的・協調的に取得するべきデータの種類や量を判断することで，リソースを有効に活用したデータ取得の可能なシステムの実現を目的とし，低性能なセンサノードが存在する環境においても各センサノードが知識処理を用いた処理判断を可能とする，必要な知識処理を外部委託可能なセンサシステムを提案した．本稿では，提案手法で用いる低性能なセンサノードにおいて，システムの試作と動作検証を行った．

今後の課題として，4.2 節で述べたように，提案手法の詳細な設計，センサノードのさらなる試作，プロトタイプシステムの作成，プロトタイプシステムを用いた評価が必要となる．

参考文献

[1] 今井信太郎，新井義和，猪股俊光：加速度センサを用いた動作推定のためのデータ処理手法の一検討，マルチメディア通信と分散処理ワークショップ 2011 論文集，Vol.2011，pp.140-146 (2011).

[2] 趙冰熙，清水遥，今井信太郎，新井義和，猪股俊光：データ処理場所を自律的に変更するシステムの一検討，マルチメディア通信と分散処理ワークショップ 2013 論文集，Vol.2013, pp. 228-235 (2013).

[3] 大喜恒甫，渡辺陽介，北川博之，川島英之：対象情報源を動的に選択可能なストリーム処理の実装と評価，情報処理学会論文誌，Vol. 2 No. 3 pp.1-17(2009)

[4] 川上朋也，寺西裕一，春本要，下條真司：センサデータの意味的解釈に基づく分散センサ情報管理システム，情報処理学会論文誌，Vol. 54，No. 2，pp.730-739（2013）.

[5] 吉田幹，奥田剛，寺西裕一，春本要，下條真司：マルチオーバレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォーム PIAX，情報処理学会論文誌 vol. 49，No. 1，pp.402-413（2008）.

[6] T. Kozaki，S. Nakajima，T. Tsujioka，S. Hara，T. Inoue，H. Nakamura and K. Takeuchi：Estimation of humen Movements form Body acceleration Monitoring Using one Nearest nerghbor Method – Ubiquitous Health-Care -，6th int. Conf. on Inteeligent Information hiding and Multimedia Signal Processing，pp.672-275 (2010).

[7] 田淵勝沼，納谷太，大村廉，野間春生，小暮潔，岸野文郎：加速度センサを用いた日常行動識別におけるデータ収集条件の識別性能への影響評価，電子情報通信学会技術研究報告，PRMU，Vol. 106(73)，pp.43-48（2006）

[8] 児玉賢治，藤田直生，柳沢豊，塚本昌彦，義久智樹：センサデータのための加速度データに基づくルールが他動作制御方式，情報処理学会論文誌，Vol. 49，No. 11，pp.3732-3742 (2008).

[9] PIAX ホームページ:http://www.piax.org/

[10] R. Smith, “The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver”, IEEE Transactions on Computers C-29(12) (1980).