

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500045

研究課題名(和文) 共同協調作業を支援する分散モバイルプラットフォームの研究－非集中型アプローチ

研究課題名(英文) Research on distributed mobile platform to support collaborative work

研究代表者

中本 幸一 (Nakamoto, Yukikazu)

兵庫県立大学・応用情報科学研究科・教授

研究者番号：70382273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000 円

研究成果の概要(和文)：共同協調作業を支援する分散モバイルシステムを開発した。災害救助などの非常事態での活動、集団行動が適用領域である。データストリーム技術(DSMS)におけるデータフロークエリ言語を利用した。既にある車載システム向けDSMSを利用して運転者向けにAndroid用DSMSを開発し、次に共同協調作業のワークフローをクエリ言語で表現し、Android用DSMSを拡張した。

また、共同協調作業を支援する無線ネットワークにおいて、全体として長期に利用できるように端末に搭載されるセンサーを低電力でスケジューリングするアルゴリズム、停止しそうな場合に残存電池量を考慮して経路を選択するアルゴリズムを研究した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a distributed mobile system to support a cooperative and collaborative work. Application area include not only well-organized collaborative activities but unorganized activities. We utilize data stream management system (DSMS) and a data flow query language in DSMS. Firstly, we developed Android DSMS for a driver using an in-vehicle DSMS. Secondly, we specify a workflow of collaborative work with the query language and extend Android DSMS to execute the workflow. In the wireless network to support the collaborative work, to make the network live longer we research algorithms to schedule sensors in a terminal and to select routes taking consideration into the remaining battery amount of a terminal.

研究分野：組込みシステム

キーワード：共同協調作業支援ミドルウェア

1. 研究開始当初の背景

本研究提案の背景は、震災や台風などの組織化されていない状況で共同協調作業の支援が必要とされたところにある。現在、フェイスブックやツイッターなど多くの情報発信手段が存在し、社会に大きな影響を及ぼす存在となっている。これらのシステムではクラウド中のサーバに巨大なデータストレージを設置し、利用者からの情報を集積・発信している。しかしながら、このような集中管理的な情報共有は、本研究提案で対象としている、ローカルな協調作業を支援するには柔軟性に欠けるだけでなく、通信が不可能な状況が発生する可能性があるという問題があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、このような集中管理的なデータ管理や通信手段がなくても、ローカルな環境で集団の共同協調作業を支援する分散モバイルプラットフォームを研究・開発することである。適用領域としては、先に述べた災害救助などの非常事態での活動、コミュニティ活動、集団行動、あるいは人以外では群走行する車両群などがある。また、オフィスでの会議、学校での授業・実験などのように集中管理が可能な状況でも、その利用や設定が簡単でない状況も対象と考えられる。これらの活動の特徴は、活動の参加者の目的が明確であること、アドホックな集団であることなどの特徴がある。

共同協調作業では、利用者はモバイル端末を所有し作業を行うと想定する。こうした共同協調作業の例として、救援活動中にある救援作業者が物資に余分がないか現場にいる作業者に尋ね、作業員から可能な物資の有無や量の連絡を行い、その物資の配送を指示するというものがある。このような作業環境では情報のやりとりと指示が頻繁に行われる。必要とされる情報を効率的に伝搬するソフトウェアプラットフォームを研究開発する。

さらに、共同協調作業を支援する無線ネットワークにおいて、各端末の消費電力を抑えること、たとえば端末の電池がなくなり動作しなくなった(この現象をエネルギーホールと呼ぶ)としても、その数をできるだけ小さくしてネットワークを機能させる必要がある。センサーを搭載したセンサーノードを無線通信で繋いだセンサーネットワークも同じ要求があるため、センサーネットワークを対象として、省電力を始めとしてネットワークの長期利用を目的としたアルゴリズムを研究した。

3. 研究の方法

研究当初、分散モバイルプラットフォームの研究開発する土台としてコンテンツベース出版・購買モデルをベースとすることを考えていた。コンテンツベース出版・購買モデルとは、分散通信パラダイムの一つでありう登

録と利用者の指定した条件(コンテンツベース出版・購買モデルでは購買条件と呼ぶ)にあったグループ作業スペース内や共有作業スペース内のデータオブジェクトの検索(出版・購買モデルではマッチングと呼ぶ)・しかしながら、データベース技術の一領域として注目されているデータストリーム技術(Data Stream Management System, DSMS)をベースに研究を進めるのが効率的であることが分かり、DSMS をベースに研究開発を進めた。DSMS とは、株価や外国為替レートの情報、ネットワークのパケットなど、時系列に生成されるデータをストリーム形式で低遅延に処理するデータ処理技術である。DSMS へは通常のデータベースと同様にクエリの形で関心のあるデータの取得が行われる。クエリの形式としては、通常のデータベースと同様の SQL 形式と手続き形式がある。本研究では、手続き形式の中のデータフロー形式を採用した(図 1)。これは共同協調作業のワークフローを表すのに適していると考えたからである。具体的には名古屋大学情報科学研究科附属組込みシステム研究センターで開発している自動車の制御用コンピュータ向けの DSMS(車載向け Embedded DSMS, 車載 eDSMS)をベースに、1) eDSMS の延長として自動車のユーザインタフェース機能向けに Android 端末向け DSMS (Android 端末向け eDSMS)を開発し、2)それを共同協調作業のワークフロー支援に適用するプラットフォームを開発する、という進め方をした。

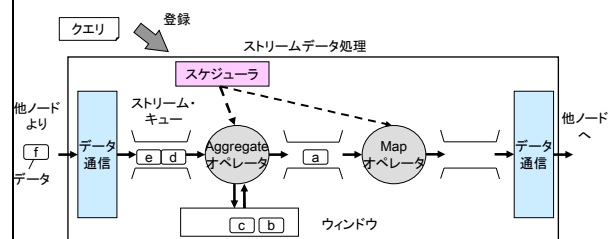


図1 データストリーム処理システム

4. 研究成果

研究成果は以下に分類される。

(1) 分散モバイルソフトウェアプラットフォームの開発

共同協調作業を支援する分散モバイルソフトウェアプラットフォームを開発するために、以下の3つの研究を行った。

(a) Android 端末向け eDSMS の開発: ここでは自動車のユーザインタフェース機能向けに、eDSMS をベースに、Android 端末向け eDSMS を開発した。利用形態は図2を想定し、Android 端末向け eDSMS の要件として、以下の2つのユースケースを考えた。

① ドライバ等に車載 eDSMS のデータストリームを利用したサービスを提供

② Android 端末からの情報を車載 eDSMS に入力

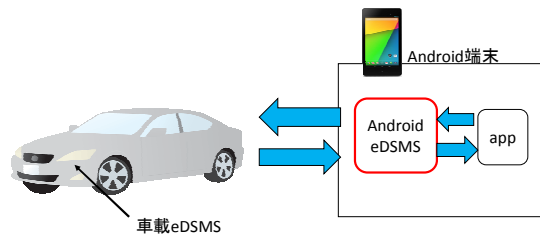


図 2 Android eDSMS と車載 eDSMS

Android eDSMS におけるデータフロークエリ言語でのプログラム例を図 3 に示す。

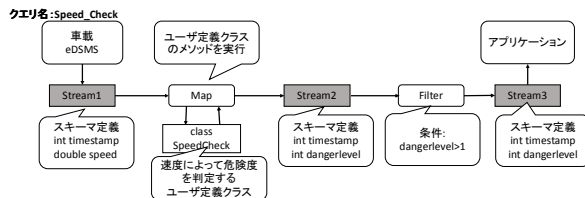


図 3 Android eDSMS でのプログラム例

このプログラムでは車載 eDSMS から出力された速度を入力として、危険信号をドライバに出力している。このデータフロークエリで利用できるオペレータの一覧を表 1 に示す。このオペレータ以外に利用者が必要に応じてオペレータの追加、拡張が可能である。

表 1 データフロークエリでのオペレータ

オペレータ名	説明
Filter	単一のストリームに入力されたデータのうち、指定された条件に合致したものを次のストリームに出力する
Join	2つのストリームに入力されたデータのうち、指定された条件に合致したものを結合し次の単一ストリームに出力する
Map	単一のストリームに入力されたデータに対して操作や指定された関数を実行し次のストリームに出力する
Union	複数のストリームに入力されたデータを結合し次の単一ストリームに出力する
Aggregate	ストリームのデータを一定期間メモリに保持し、そのデータに対して集計関数を実行し次の単一ストリームに出力する

次に Android eDSMS の構造上の特徴を示す。

- [F1] 車載 eDSMS のスキーマに依存する部分のプログラム生成を Android デバイス内で行う。これは車載 eDSMS から取得するデータに変更があった場合や、機能追加を行う場合など、スキーマに変更が生じる度に、簡便に対応するためである。この機能は実行可能クエリジェネレータにより実現する。
- [F2] Android eDSMS の機能を Android の Service でも実現することにより、複数の Android アプリケーションから利用可能とした。

Android eDSMS のアーキテクチャを図 4 に示す。

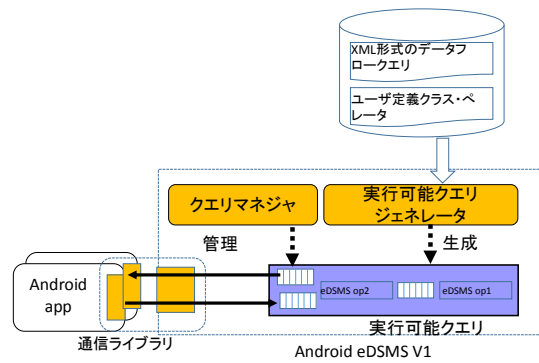


図 4 Android eDSMS のアーキテクチャ

図 4 に示すように実行可能クエリジェネレータは処理タブリ情報と実行可能クエリを XML 形式のスキーマファイル、クエリファイルから生成する。XML 形式のクエリ内で定義されているスキーマ情報を実行時にクエリパーサが読み込み、ハッシュマップと呼ばれる Java のデータ構造を生成する。この時に、ハッシュマップでフィールド名、型と要素番号が関連づける。車載 eDSMS から受信したデータは、まずハッシュマップ中の Object 型の配列に格納される。車載スキーマに対応するクラスは、getDouble(フィールド名)、getInteger(フィールド名)などのメソッドをもっており、これらのメソッドはハッシュマップを使って Object 型のデータをキャストして取り出す。これにより車載 eDSMS から取得するデータのスキーマが変更された場合でも Android プログラムの修正無しに対応することが可能になる。

複数アプリケーションからの利用を可能とするために、Android eDSMS を Android の Activity だけでなく Service としても実装した。Android のアプリケーションプログラムからこの実装の違いが見えると利用が簡単でなくなるため、図 4 にあるような通信ライブラリを作成し、両者の違いを Android のアプリケーションプログラムから隠ぺいした。

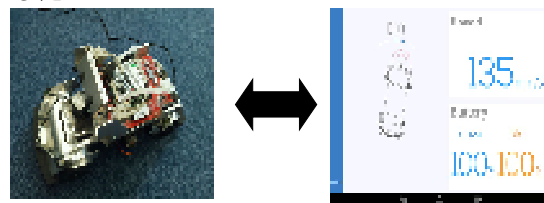


図 5 Android eDSMS のデモシステム

Android eDSMS の有効性を検証するために、図 5 に示すようなデモシステムを作成した。図 4 の左は車載 eDSMS を搭載した ZMP 社の 1/10 ロボカー、右は Android eDSMS の GUI 画面である。右に示す他にも利用者の好みに合わせた画面を短期間で開発することができた。本デモシステムは 2014 年 11 月 28, 29 日の神戸市で行われた神戸 IT フェスティバル他でデモ展示した。

また、Android eDSMS の性能評価を行った。クエリジェネレータが生成するクエリの実

行制御部のオーバーヘッドは、0.06 ミリ秒であり、許容範囲と考えている。次に Android の単一プログラムで Activity を利用する場合と複数プログラムから Service として利用する場合の比較を行った。前者は 4.69 ミリ秒、後者は 8.75 秒であり、大きな差が出た。これは Service 利用において Android のプロセス間通信が発生しているためである。利用時に注意が必要であることが分かった。(雑誌論文②)

(b) 組込みシステム向け DSMS のスケジューリングアルゴリズムの研究： 車載 eDSMS の利用において、衝突検知など、デッドライン時刻までに処理を終了させる必要があるリアルタイム処理が必要になる。これまで、データフロックエリの処理は FIFO 処理で行われていたが、これではデッドラインを守ることができない場合がある。これを可能な限り避けるために、データフローのクエリ処理を入力データに付随したデッドライン順で行うこと、このデッドライン処理が少ないオーバーヘッドで実現するアルゴリズムを創案し、シミュレーションにより評価した。(雑誌論文①)

(c) Andorid eDSMS を利用した共同協調作業支援システムの開発： (a) で開発したデータフロックエリ言語を利用して、共同協調作業支援のために、作業におけるワークフローの記述を試みた。図 6 に非常事態での組織活動のワークフローとそれをデータフロックエリのオペレータで記述した例を示す。ここで join, filter は表 1 で記載されている意味である。

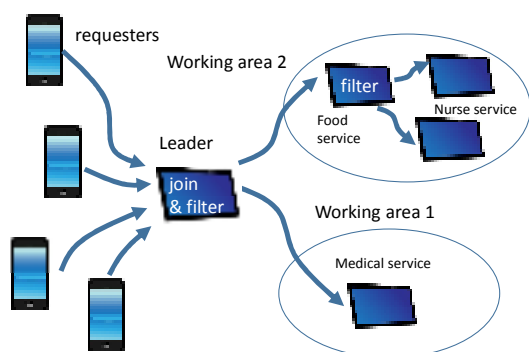


図 6 ワークフローとデータフロックエリでの記述

共同協調活動では車載システムのように直ちに処理を行うのではなく、時間がたってから処理を行うことも想定される。これを簡単に実現するために、図 7 にあるようにデータフロックエリの階層型スケジューラを導入した。(学会発表①)

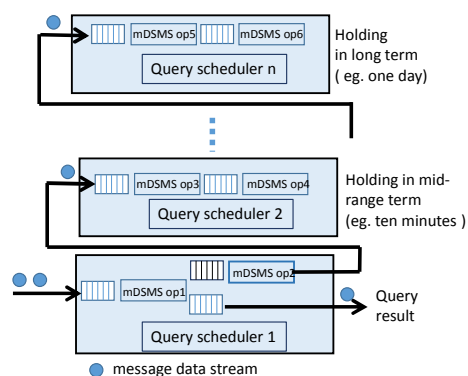


図 7 階層型クエリスケジューラ

(d) 効率よいモバイルアプリケーション通信機能の研究： ここで効率の良さは、モバイル端末内・間を意識することなく通信できる機能(いわゆる位置透過性)を意味する。この機能により上述した DSMS のオペレータ間の通信のモバイル端末での配置が簡単に行うことができる。具体的には、リモートにあるデータオブジェクトのオペレーション実行は、Android のプロセス間通信機能であるバインド、コールバック、インテントをモバイルデバイス間通信に拡張する形で実現を行った。図 8 にこれのデモを示す。(学会発表①)

図 8 アプリケーション通信機構のデモ



(2) 無線ネットワークの長期利用を目的としたアルゴリズムの研究

共同協調作業を支援する無線ネットワークにおいて、ネットワークを長期に機能させる必要がある。センサーネットワークを対象として、省電力を始めとしてネットワークの長期利用を目的としたアルゴリズムを 2 種類考案した。

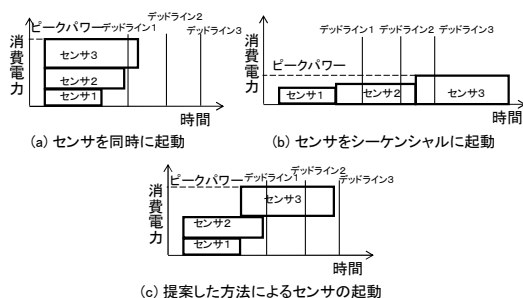


図 9 センサースケジューラ

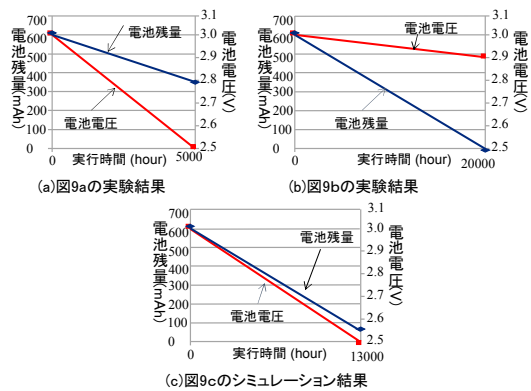


図 10 実験結果

(a) 環境センサーが消費される電力の削減方法の研究: センサーを利用した実験で、複数のセンサーをシーケンシャルに動作させるより、同時に動作させた方が電池寿命は短いことが分かった(図 9a, 1b, 2a, 2b)。これは複数のセンサーを同時に動作させるのがピーク時の消費電力が高いからである。ピーク時の電力消費量が高い場合、電池電圧が急速に低下し、電池残量があってもセンサーノードが動作を停止することを分かった。これは一般的に電池を使う機器では成立するものとされている。複数のセンサーをシーケンシャルに動作させた方が電池の寿命が長くなる。しかし、各環境センサーの実行では、一定時間以内にセンサーデータを取得しなければならぬという時間制約があるため、シーケンシャル実行は必ずしもデッドラインを満たされないことがある。本研究では、センサーのデータ取得と言う時間制約の下で、ピーク電力消費を可能な限り低減することを目的として、図 1c のようなセンサー実行方式を提案した。この方式に基づいて、センサーの実行時間をスケジュールすることによって、電池を効率よく利用し寿命を延ばす三つのオフラインアルゴリズムを提案した。これらのアルゴリズムの有効性をシミュレーションで評価し、三つのアルゴリズムは電池寿命を 2-3 倍に延ばすことを示した(図 2c)。

(雑誌論文④)

(b) 無線通信で消費される電力の削減方法の研究: センサーノードがデータを取得した後、データを直接、或いは他のノードを経由して基地局に転送する必要がある。無線通信にかかる電力は通信距離の 2~6 乗と正比例するため、消費電力を削減するには通信距離を短縮すべきである。また、マルチホップ通信では、中継ノードが複数ノードからのデータを転送すると、中継ノードの方が消費電力が大きいと考えられ、その中継ノードではエネルギーホールができてしまう。これら問題を解決するため、本研究では通信経路制御アルゴリズム EHAEC を提案した。EHAEC は最小全域木を作るグラフアルゴリズムである PRIM をベースにし、エネルギーホールが作りやすいノードに関わるエッジに合理的な重さを追

加することによって通信距離の短縮及びエネルギーホールの回避ができる。しかし、EHAEC はエネルギーホールを完全に避けることができないため、我々は二つの交換通信経路制御アルゴリズム TINORESA (消費電力の大きいノードを休ませる交換経路を複数に作れるアルゴリズム) と COMSA (各ノードの COMSA での消費電力が EHAEC での消費電力の補数である経路を作れるアルゴリズム) を提案した。TINORESA と COMSA が作られた通信経路を EHAEC が作られた通信経路と交換に使うと、エネルギーホールを完全に避けることができる。これらのアルゴリズムの有効性をシミュレーションで評価し、三つのアルゴリズムは従来のアルゴリズム (直接基地局に転送, LEACH, PRIM) より、無線センサーネットワークの寿命を約 1~6 倍に延ばすことを示した。(雑誌論文③)

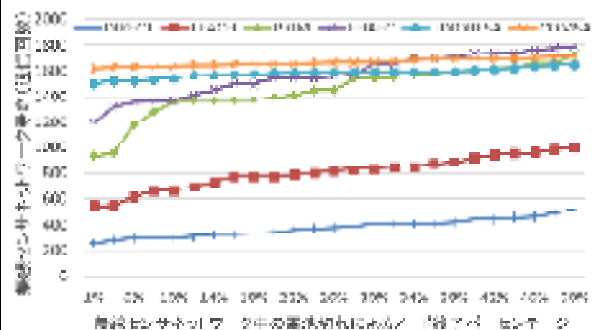


図 11 通信経路アルゴリズムのシミュレーション結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 山口晃広, 渡辺陽介, 佐藤健哉, 中本幸一, 高田広章, “車載組込みシステム向けデータストリーム処理のリアルタイムスケジューリング”, 情報処理学会データシステム論文誌(受理).
- ② Shingo Akiyama, Yukikazu Nakamoto, Akihiro Yamaguchi, Kenya Sato, and Hiroaki Takada, “Vehicle Embedded Data Stream Processing Platform for Android Devices,” International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 6, No. 2, pp. 285-294, Feb. 2015. DOI:10.14569/IJACSA. 2015.060240
- ③ Qian Zhao, Yukikazu Nakamoto, “Algorithms for Reducing Communication Energy and Avoiding Energy Holes to Extend Lifetime of WSNs”, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E97-D, No.12, pp.2995-3006, Dec. 2014. DOI: 10.1587/transinf.2014PAP0003
- ④ Qian Zhao, Shimpei Yamada, Yukikazu

Nakamoto, Koutaro Yamamura, Makoto Iwata, and Masayoshi Kai, “Sensor scheduling algorithms for extending battery life in a sensor node”, IEICE Transaction on Fundamentals, Vol. E96-A, no. 6, pp.1236-1244, June 2013. DOI: 10.1587/trasfun.E96.A.1236

〔学会発表〕（計 20 件）

- ① Yukikazu Nakamoto and Shingo Akiyama, “A Propose for Mobile Collaborative Work Support Platform Using an Embedded Data Stream Management System”, 14th International Workshop on Assurance in Distributed Systems and Networks, Columbus, USA, 2015 年 6 月 29 日（発表確定）.
- ② Akihiro Yamaguchi, Yukikazu Nakamoto, Kenya Sato, Yoshiharu Ishikawa, Yousuke Watanabe, Shinya Honda, and Hiroaki Takada, “AEDSMS: Automotive Embedded Data Stream Management System, 31st IEEE International Conference on Data Engineering, Seoul Korea, 2015 年 4 月 14 日.
- ③ Qian Zhao and Yukikazu Nakamoto, Routing Algorithms for Preventing “Energy Holes and Improving Fault Tolerance in Wireless Sensor Networks”, 7th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks, GRANSHP, 静岡県静岡市, 2014 年 12 月 12 日.
- ④ 山口晃広, 渡辺陽介, 佐藤健哉, 中本幸一, 高田広章, “デッドラインを持つクエリプラン割り当てによる分散ストリーム処理のリアルタイムスケジューリング方式”, 情報処理学会研究報告(データベース), Vol. 2014-DBS-160, No. 25, pp.1-8, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 東京都江東区, 2014 年 11 月 18 日
- ⑤ 秋山真吾, 中本幸一, “Android デバイス向けデータストリーム管理システムについて”, 組込みシステムシンポジウム 2014 論文集, pp.143-144, 国立オリンピック記念青少年センター, 東京都渋谷区, 2014 年 10 月(優秀ポスター賞).
- ⑥ 山口晃広, 佐藤健哉, 中本幸一, 渡辺陽介, 高田広章, “車々間通信を用いた安全運転支援のためのリアルタイムストリーム処理”, 情報処理学会研究報告(高度情報システムとスマートコミュニティ), Vol. 2014-ITS-58, No. 7, pp.1-8, 鳥取大学, 鳥取県鳥取市, 2014 年 9 月 19 日. (ITS 研究会奨励賞)
- ⑦ 岡本昌訓, Mohammed Bhuiya, 中本幸一, “Android デバイス向けデータストリーム管理システムの試み”, 情報処理学会研究報告(組込みシステム), Vol. 2014-EMB-32, No. 12, pp.1-6, ICT 文

化ホール、沖縄県石垣市石垣, 2014 年 3 月 15 日

- ⑧ Yukikazu Nakamoto, Masanori Okamoto, Mohanmed Bhuiya, Akihiro Yamaguchi, Kenya Sato, Shinya Honda, Hiroaki Takada, “Android Platform based on Vehicle Embedded Data Stream Processing,” 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and 10th International Conference on Autonomic & Trusted Computing, pp.48-55, Vietri sul Mare, Italy, 2013 年 12 月 18 日.
- ⑨ Qian Zhao and Yukikazu Nakamoto, “Energy-Efficient Sensor and Task Scheduling for Extending Battery Life in a Sensor Node ” , 1st IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks and Applications, pp.96-100, Taipei, Taiwan, 2013 年 8 月 20 日.
- ⑩ Qian Zhao, Yukikazu Nakamoto and Zulfazli Bin Hussin, “Energy-efficient protocol for extending battery life in wireless sensor networks” , 10th Workshop on Wireless Ad hoc and Sensor Networks), pp.268-273, Philadelphia, USA, 2013 年 6 月 8 日.
- ⑪ Kazuhiro Nakao and Yukikazu Nakamoto, “Toward Remote Service Invocation in Android” , IEEE 2012 Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing, pp.612-617, 九州産業大学, 福岡県福岡市 2012 年 9 月 4 日.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ai.u-hyogo.ac.jp/~nakamoto>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中本幸一 (Yukikazu Nakamoto)

兵庫県立大学・大学院応用情報科学研究科・教授

研究者番号：70382273