慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	小型組込ノードにおける電池容量と記憶容量に適応した最低記録時間保証機構
Sub Title	A mechanism to guarantee minimum data recording time for tiny embedded nodes based on the amount of energy and storage
Author	中澤, 仁(Nakazawa, Jin)
Publisher	
Publication year	2011
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2010.)
JaLC DOI	
Abstract	小型組込ノードで, 利用者が指定したデータの最低品質を保証しながら, 記録するセンサデータの間引きを行い, 同時に, 利用者が指定した最低記録時間を保証する機構を研究開発した. これにより, 大規模広域無線ネットワークのデータ収集・記録をターゲットアプリケーションとする小型組込ノードにおいて, システムの実行時予測可能性を向上させた.
Notes	研究種目 : 若手研究(B) 研究期間 : 2008 ~ 2010 課題番号 : 20700070 研究分野 : 計算機科学 科研費の分科・細目 : 情報学・計算機システム・ネットワーク
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_20700070seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成２３年５月３１日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2008～2010
課題番号：２０７０００７０
研究課題名（和文）　小型組込ノードにおける電池容量と記憶容量に適応した最低記録時間保証機構
研究課題名（英文）　A Mechanism to Guarantee Minimum Data Recording Time for Tiny Embedded Nodes Based on the Amount of Energy and Storage
研究代表者
中澤　仁（NAKAZAWA JIN）
慶應義塾大学・環境情報学部・専任講師
研究者番号：８０３６５４８６

研究成果の概要（和文）：小型組込ノードで，利用者が指定したデータの最低品質を保証しながら，記録するセンサデータの間引きを行い，同時に，利用者が指定した最低記録時間を保証する機構を研究開発した．これにより，大規模広域無線ネットワークのデータ収集・記録をターゲットアプリケーションとする小型組込ノードにおいて，システムの実行時予測可能性を向上させた．

研究成果の概要(英文)：This research is aiming at developing a mechanism that can guarantee minimum sensor recording time by introducing new systems of guaranteeing quality of data to store, and reserve battery capacity in tiny embedded nodes. The mechanism extend the predictability of systems on tiny embedded nodes that are used for wide-area wireless sensor networks.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2008 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総　計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：計算機科学
科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク
キーワード：センサネットワーク、携帯電話、インタオペラビリティ、ユビキタスサービス、運用技術

１．研究開始当初の背景

新世代の情報社会では，人感センサ，大気汚染センサ，位置センサ等を搭載する無線センサノードが屋内・屋外の至る所に敷設され，人間の安心や安全をサポートするサービスが提供されると考えられる．特に都市圏では，数十万個のセンサノードが敷設され，通学路での学童見守りやお年寄りの見守り等に有効に応用できる．このように広域に分散する大規模な無線センサネットワークでは，少数のサーバにセンサデータを集中させるよりも，利用者が携帯する小型組込ノードで自律的にセンサデータを収集・記録することにより，スケーラビリティや耐故障性の向上が期待できる．小型組込ノードのこのような利用形態では，利用者が同ノードを携帯する時間（例えば日中の 12 時間），継続的にセンサデータの収集・記録を継続する必要がある．

一方，携帯電話や PDA，携帯型音楽プレーヤをはじめとする既存の小型組込ノードでは，記憶装置や電池の容量が限られている．このため，上述した要求時間の半ばで，電池

切れや記憶容量不足によりセンサデータの記録を継続できなくなる場合がある.

２．研究の目的

本研究では，小型組込ノードで，利用者が指定したデータの最低品質を保証しながら，記録するデータの間引きを行い，同時に，利用者が指定した最低記録時間を保証する機構を研究開発する．これにより，大規模広域無線ネットワークのデータ収集・記録をターゲットアプリケーションとする小型組込ノードにおいて，システムの実行時予測可能性を向上させる．具体的には，次に示す二つの技術の研究開発を行うことを目的とした.

(1) 小型組込ノードにおける記憶容量予約機構
限られた容量の記憶装置に，利用者が指定した時間(最低記録時間)分のセンサデータを記録するために，受信したデータを圧縮する.

(2) 小型組込ノードにおける電池容量予約機構
限られた容量の電源を用いて，小型組込ノードが最低記録時間動作し続けるために，同ノードが搭載するデバイスの電力消費を抑制する.

３．研究の方法

本研究を以下の 3 段階に分けて遂行した．まず第 1 段階では，主に研究課題 1 に取り組み，電池容量を考慮しない記憶容量予約機構を開発した．第 2 段階では，研究課題 2 に取り組み，記憶容量を考慮しない電池容量予約機構を開発した．第 1，第 2 段階では XScale プロセッサ上の Linux OS を対象とした開発を優先的に進めた．最後に第 3 段階では，記憶容量予約機構と電池容量予約機構とが相互に連携しあって動作するよう，それらの統合を行った.

４．研究成果

(1) 小型組込ノードに置ける記憶容量予約機構

本研究課題では，携帯電話機と我々が独自に開発した TinyOS デバイスを対象として同機構を開発した．ここでは前者について主に取り上げて報告する.

au 携帯電話機に装着可能なセンサ情報トランシーバと,同機 で動作するセンサ情報収集ソフトウエア,および各種の環境情 報センサを搭載した無線センサノードを構 築した.

センサ情報トランシーバは,Crossbow 社 MPR2600CA をコイン型リチウムイオン電池で駆動する小型デバイスである．図 1 に,センサ情報トランシーバを携帯電話 (カシオ製 W62CA) に装着したときの様子を示す.内部では,無線センサネットワークからセンサ情報を受信して,UART を介して携帯電話へ データを転送するプログラムが動作している.センサ情報受信部を書き換えることにより,Zigbee に対応した Crossbow 社の すべての無線センサノード,および Zigbee 対応無線センサノードと通信を行える.

同トランシーバを装着した au 携帯電話機上で,図 2 に示す記憶容量予約機構を構築した (他 に , MICA2DOT 無線センサノード (Atmel ATmega128L 4MHz CPU,512KB Flash ROM,TinyOS 1.1)上でも実装し，マルチプラットフォーム性を高めた)．本機構では,入力センサデータに対して異なる複数のフィルタを順次適用することでデータ凝縮を行い,結果を MSDB に 記録する.

平均化フィルタ 同時刻に異なるセンサノードから入力したデータの平均値を求め単一

仕様	
WSN モジュール	Crossbow MPR2600CA
MPU	Atmel ATmega168L 8MHz
プログラムメモリ	128KB
データ用メモリ	512KB
無線通信用 IC	Texas Instruments CC2420 (250kbps)
入出力	UART, I^2C, SPI, ADC, DIO
無線通信	Zigbee (IEEE802.15.4)
外部入出力	UART, JTAG
動作電圧	DC 3.0V
バッテリ	コイン型 Li-Ion 充電池 PD3048(300mAh)
連続動作時間	8 時間 (毎秒 3 データ受信時)
サイズ	42 × 80 × 10mm

図 1 センサ情報トランシーバ

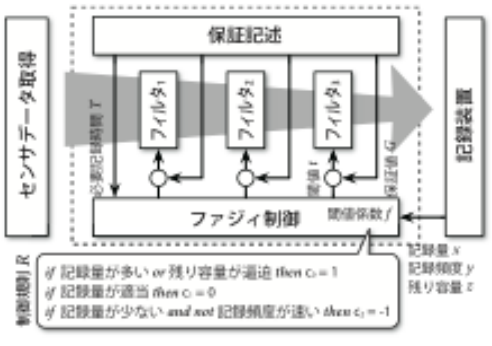

図 2 記憶容量予約機構概要図

```
Profile: LifeLog
GuaranteedTime: 172800
TimeFilter: 0, 10
ProximityFilter: 0, 20
```

```
Profile: Tracerbility
GuaranteedTime: 604800
TimeFilter: 0, 120
ProximityFilter: 0, 5
```

図 3 アプリケーションごとの保証記述例

の値として出力する.

時間フィルタ センサデータが閾値時間内に複数入力された場合 に破棄する.閾値を大きくすると,記録データ数が減少する.

距離フィルタ 発信元からのネットワークホップ数が閾値よりも 大きいデータを破棄する.閾値を大きくするとより遠くのセ ンサデータまで記録され,記録データ数が増加する.

類似フィルタ 入力データと直前のデータとのユークリッド距離が閾値以下の場合,入力データを類似データとみなして破棄 する.閾値を大きくすると記録データ数が減少する.

記憶容量の予約(保証) に対する要求は,アプリケーションごとに異なる.例えばライフログアプリケーションでは,RFID や加速度,温度や湿 度,照度など,多くの種類のセンサデータが必要となり,また, 時間粒度を細かくとる必要がある.一方,食品のトレーサビリ ティを実現する場合,温度と湿度のみの限られたセンサデータを 記録すればよいが,必要記録時間は 1 週間など長期にとなる.こ のように各アプリケーションごとに異なる必要記録時間や保証 値を適用するため,本研究ではアプリケーションごとに保証記述を指定し,その記述を元にデータ凝縮を行う.図 3 に, ライフログアプリケーションおよびトレーサビリティアプリ ケーションの保証記述例を示す.

保証記述が異なるアプリケーション に適応し,記憶容量を十分使用して記録できることを,実験により確認した. 図 4 上 (ライフログ) と図 4 下(トレーサビリティ) の保証記述を用いたデータ記録実験により示す.ライフログの保証記述では類似フィルタの適応範囲が広く,トレーサビリティの保証記述では時間フィルタの適応範囲が広 い .またライフログの保証記述では必要記録時間が 2 日間となっており,トレーサビリティのそれ (7 日間) よりも短い.図 5 上では,主に類似フィルタの閾値が動的適応 処

表 1 フィルタごとのデータ減少率

	ライフログ		トレーサビリティ	
	保証値	減少率	保証値	減少率
時間フィルタ	10 秒	8.43%	120 秒	95.38%
類似フィルタ	20%	81.71%	5%	8.93%
記録量 (充足率)	25723 (98.13%)		25738 (98.18%)	

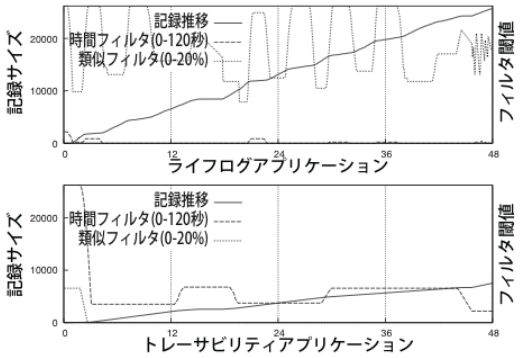

図 4 異なるアプリケーションによる記録推移

理により変化しているのに対して,同図下では,主に時間フィ ルタの閾値が変化している.これらは保証記述における適応範囲 を反映していると言える.表 1 に,本実験における充足率とフィ ルタごとのデータ減少率を示す.ライフログでは時間フィルタよ りも類似フィルタでのデータ減少率が高く,トレーサビリティで はその逆となった.保証記述において制約の緩い適応範囲が指定 されたフィルタにおいて,データ減少率が高くなっている.これに対して,充足率は両実験とも 100% に近く,保証記述の違いに 関係なく記憶容量一杯にデータが記録された.これらにより,提 案方式における動的適応処理は,アプリケーションごとの保証記述を正しく処理したと言える.

(2) 小型組込ノードにおける電池容量予約機構

小型組込ノードに置ける消費電力の再粒度モニタリングと将来の電力量予約を主眼として研究開発を進めた.

モニタリングに関しては, 組み込み機器内で CPU, メモリ, ネットワークの使用量をプロセス毎に測定する電力使用量計測モジュールを構築した. ネットワークについては機器全体としての使用量ではなく, 複数のプロセスがネットワークを使用する場合, プロセス毎のネットワーク使用量を計測することが重要である. 組み込み機器の消費電力の内無線通信は大きなウェイトを占めるため, この点について重点的に対応する必要があった.

そこで, プロセスとネットワーク使用量の紐付けを可能とするネットワーク計測モジュールを構築した. ネットワーク計測モジュールでは, 従来 Linux のインターフェース情報から取っていたネットワーク使用量をパケットレベルの解析を行うように変更したことで, ポート番号別のネットワーク使用量

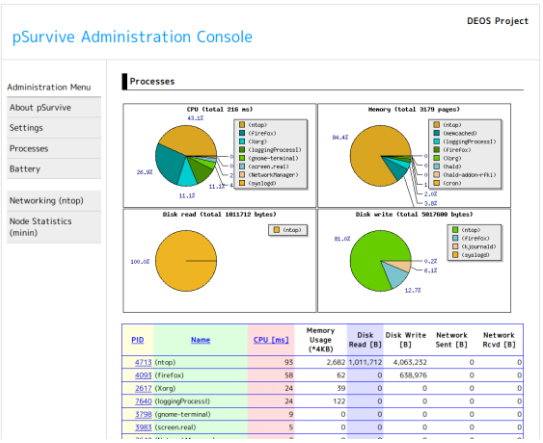

図 5　全プロセスのリソース消費量の可視化

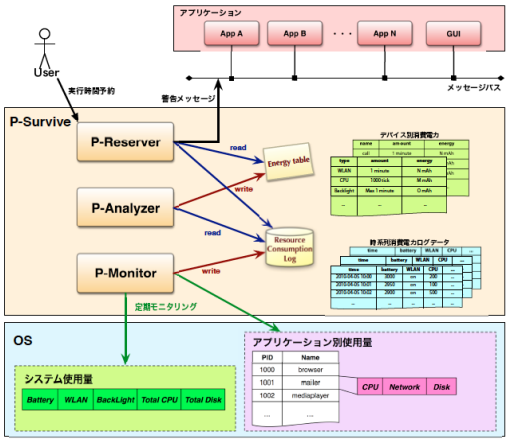

図 6 消費電力量予約機構の概要

を計測する．その後，ポート番号別のトラフィック情報をカーネルから取得したプロセスとソケットの対応情報と紐づけることで，プロセス毎のネットワーク使用量を計測している．

また，消費電力情報を時系列に記録する消費電力テーブルについて，従来の実装手法では専用のロギングプログラム上で管理していたが，稼働中のプロセスが増加したりログサイズが肥大化したりするにつれてシステムに大きな負荷をかけてしまうことが問題となっていた．そのため，より高速で読み書きが可能な memcached（http://memcached.org/）を採用し，高速化を図った．これにより，従来は直感的に把握しづらかったリソース状況が把握できるようになった(図 5)．具体的には，システムの中から特に消費電力の大きなプロセスを探し出したり，特定のプロセスについて過去のリソース消費量を時系列で閲覧することができるようになった．

また，消費電力量の予約については，モバイル端末においてアプリケーションの実行時間予約を行う P-Survive システムを構築し，P-Survive の中核である消費電力予測について実装と評価を行った．P-Survive はソフトウェアによって消費電力計測と予測を行うことが特徴であり，ユーザの実際の使用履歴から消費電力量を予測することができる．

P-Survive システム全体の概要図を図 6 に示す．P-Survive はモバイル端末を視野に入れて設計している．モバイル端末では利用できるリソースが限られるため，出来る限り動作を軽くしなければならない．また，端末毎にハードウェア仕様などが異なるため，拡張性への配慮も必要である．そこで，システムをモニタリングを行う P-Monitor，解析を行う P-Analyzer，予約を受け付ける P-Reserver の 3 つのモジュールに分けて設計した．P-Monitor はデバイスの使用状態を監視するため，端末に依存した実装が必要になるため別モジュールとして分割した．また，定期的に何度も実行される機能のためリソースの状態をロギングするだけに機能を絞った.energy table の生成を行う P-Analyzer は，最も処理負荷が高いため別モジュールとして分けた．これにより，著しくリソースの制約された端末においては別ホストで解析を行うことが可能になる．P-Reserver は予約がない場合は常時起動している必要はなく，ユーザからの要求を受け取ったときのみ動作する．

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　1 件）

(1) 中澤仁，由良淳一，岩本健嗣，横山浩之，徳田英幸，「マルチセンサ環境と携帯電話の協調技術に関する検討」，信学技報，vol. 108, no. 399, pp149-154, 2009（査読あり）

〔学会発表〕（計　4 件）

(1) Jin Nakazawa，「A Description Language for Universal Understandings of Heterogeneous Services in Pervasive Computing」，IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC 2010)，2010 年 6 月 8 日，Newport Beach, California, USA(査読あり)
(2) Jin Nakazawa，「Achieving Universal Understanding of Heterogeneous Ubiquitous Services」，The 2nd Asia-Europe Workshop on Ubiquitous Computing 2009 (AEWUC'09)，Aug 3 - 4, 2009，Laforet Shuzenji, Shuzenji,

Shizuoka, Japan(査読あり)

(3) Jin Nakazawa , 「 Bridging Sensor Networks and the Internet on Cellular Phones 」 , Sixth International Conference on Networked Sensing Systems, June 17 - 19, 2009, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA(査読あり)

(4) Jin Nakazawa,「Smart Paddy: Applying Ubiquitous Systems for Rice Cropping」, Asian European Workshop on Ubiquitous Computing,フィンランド,2008年8月(査読あり)

６．研究組織

(1)研究代表者

中澤　仁（NAKAZAWA JIN）

慶應義塾大学・環境情報学部・専任講師

研究者番号：８０３６５４８６

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし