Vol.2013-MBL-65 No.53
Vol.2013-UBI-37 No.53
2013/3/15

端末間の機能分散による消費電力平滑化手法の提案

長堀 哲[1,a)]　荒川 豊[1]　田頭 茂明[2]　福田 晃[1]

概要：近年，一人のユーザが複数台のスマートフォンやタブレットを持ち歩くことが一般的になっている．これらの端末が持つセンサは，その機能が重複していることが多い．また，昔の携帯電話に比べて，短い稼働時間が大きな問題となっている．そこで，ユーザが持つ複数台の端末間で，重複したセンサ機能を共有，分散利用することにより，全体の稼働時間を最長化する手法を提案する．例えば，消費電力の大きなGPS を一方の端末で動作させ，その結果を Bluetooth を介してもう一方の端末に送信することで，両端末の消費電力を平滑化する．本稿では，各機能に必要な電力や，端末間連携に必要な通信の電力を測定し，その結果に基づいて，端末間での機能分割アルゴリズムを検討する．

キーワード：機能連携，消費電力，平滑化

A Balancing Method of Power Consumption by Functional Distribution between Portable Devices

Abstract: Recently, a user often carries several smartphones and/or tablets with multiple overlapped sensor functions. In addition, short operating time in such portable devices becomes a serious problem, as compared with the previous generations. Thus, we propose a method to extend total operating time by distributing and sharing such overlapped functions between multiple portable devices. For example, one portable device operates with a GPS device which consumes large power and sends the acquired position to another device through a Bluetooth communication. The proposed method makes it possible to balance the power consumption between the portable devices. In this paper, we measure the power required for operating sensor functions and for communications between terminals. Moreover, we consider the decision algorithm for sharing and distributing functions between portable devices based on the results.

Keywords: Coordinated sensor functions, power consumption, power balancing

1. はじめに

近年，スマートフォンやタブレット端末といった高機能携帯端末が普及し，電話やメール以外に様々な使い方ができるようになっている．例えば，地図アプリと GPS を連動して現在の位置を地図上で確認できたり，搭載されているセンサを使う事で方位磁針や万歩計として利用できる．また PC と連動し，スマートフォンを外付けモデムとして使用できるテザリング機能などもある．このように電話機以外としての使い道が多く，スマートフォンやタブレット端末を一人のユーザが複数台を同時に保持し，用途に応じて端末を使い分けることが一般的になっている．

スマートフォンやタブレット端末は多機能化により便利になったが，消費電力が大きくなり，稼働時間が短いことが大きな問題となっている．スマートフォンを持つユーザは，電池切れを起こすと電話だけでなく，インターネットで情報を取得できないために，バッテリーを長持ちさせたいと考える．また複数台の端末を持つユーザは，ある端末が電池切れを起こすよりも，複数台の端末でバランス良く電力を消費させた方が良いと考える．

そこで本研究では，重複するセンサ機能を，複数の端末間で分散し共有することで，各端末の消費電力を平滑化させ，端末の稼働時間を延ばす事を目指す．例えば，図 1 に示すように，端末 A が GPS と地図アプリを使用すること

[1] 九州大学
Kyushu University
[2] 関西大学
Kansai University
[a)] nagahori@f.ait.kyushu-u.ac.jp

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

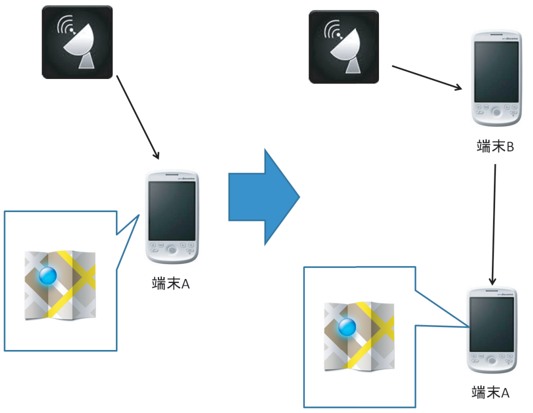

図 1 機能分散の例

を考える．この例において，端末 B が GPS で位置を取得し，それを端末 A に Bluetooth で送信すれば，A は消費電力の大きい GPS を使用せず，それよりも小さい消費電力で位置情報を取得できる．このように複数の端末と連携しセンサ機能を分散，共有することで，端末の電池をバランスよく消費でき，かつ駆動時間を延ばすことが出来る．

消費電力を平滑化させるためにはまず，外部の端末と連携してセンサ機能を共有できる必要があるが，これに関しては既存の研究がある．外部の携帯端末を仮想のセンサとして，外部の端末からセンサ情報を取得し，それをあたかも自身が観測したかのように振る舞わせる手法が提案されている．この研究では，一部のセンサに関して，センサ情報を外部の端末から取得することに成功しているため，将来的には携帯端末に搭載されている全てのセンサ情報が外部端末から取得できると考えられる．

本研究では，外部の端末と機能の分散，共有が可能である事を前提とし，センサ機能を端末間に割り当てる際に，各端末の消費電力を最適に平滑化する割り当てる方法を求めるアルゴリズムを提案する．センサ機能を分割するパターンは連携する端末と機能の数に依存して有限であり，限られたパターンの中で最適に消費電力を平滑化する分割パターンを導けば良いため，この問題は組み合わせ最適化問題である．本稿で我々が提案することは，この組み合わせ最適化問題を解くために，機能分割のパターンに対してある評価値を決める評価関数を設定することである．今回の問題は消費電力を平滑化するセンサ機能分割のパターンを求める事であり，言い換えると各端末の消費電力のばらつきが最も小さくなる機能分割のパターンを求めることである．そこで評価値としては，連携する各端末の消費電力の分散値を採用している．また評価関数を使うにあたっては，端末の消費電力を表す必要があるため，消費電力のモデル式も設定した．

本研究では提案した評価関数を使って，機能分割を行なうプロトタイプを実装し，実際に平滑化される機能の割り当てができるか，また複数端末との連携によって，消費電力がどのように変わるか，の二点を評価した．評価の方法としては携帯端末の機能を 1 台だけで使用した場合，提案した評価関数を使って 3 つの端末間で機能を割り当てた場合，3 つの端末の内，外部の 2 端末にのみ機能を割り当てた場合の 3 つケースについて評価を行なった．また共有する機能として，GPS，ジャイロセンサ，重力センサを用いた．評価実験の結果，提案手法を用いて機能を割り当てた場合が最も消費電力のばらつきが少ないことを確認できた．また端末 1 台で機能を実行した時に比べ，複数の端末間で機能を割り当てた場合は，使用する端末の消費電力を約 20 %削減できた．

本稿の構成は，以下の通りである．第 2 章では本研究と関連する関連のある研究について説明する．第 3 章では本研究の提案手法を述べて，第 4 章では提案手法を利用するための事前実験を行なう．第 5 章では提案システムの評価実験を行ない，第 6 章ではまとめと今後の課題を述べる．

2. 関連研究

協調により省電力を行なっている研究を紹介する．文献 [1] では携帯電話網の通信帯域節約を目的とし，ユーザ端末間で同じコンテンツの断片を持っている場合に，それらを Bluetooth や WiFi を使って，直接端末同士で通信しコンテンツの断片を送受信する協調ダウンロード手法を提案している．携帯電話網の通信帯域節約を達成するためには，周囲のユーザからコンテンツの断片を多く取らなければならず，効率よく他の端末からコンテンツの断片を取得する必要がある．この文献の提案手法としては，ユーザ端末が他の端末と近距離無線通信のできる範囲に入る時刻及びその確率と，他の端末が持っている断片の情報を管理するコンタクトテーブルを作成し，これに基づいてどの断片を優先して取得するかを選択する．ネットワークにサーバを設け，各端末はサーバに各自が持っている断片，必要としている断片の情報を定期的に送信する．サーバは周囲の端末との遭遇時刻や確率を計算し，コンタクトテーブルを作成し各端末にこれを送信する．端末はそのコンタクトテーブルをもとに，取得機会が少ない断片を優先して特定し，その断片を先に取得するといった方法を取る．また近距離無線通信の消費電力を抑えるために，他の端末との遭遇予定時刻が近付いた時にだけ近距離無線通信を制御する．この手法によって近距離無線通信で常に起動して得られる断片とほぼ同数の断片を取得できるうえで，消費電力を 10〜30 %削減できている．

文献 [2] では家庭の家電を対象として，協調による省エネ方法を提案している．内容としては，家電の運転時間を動的に変更・制御することで一日の電力消費を平滑化させる．これによりピーク時の電力消費を減らし結果として省エネルギーを実現させることを目指している．運転時間を動的に変更させる対象となる家電は消費電力が大きくかつ

運転時間がずれてもユーザの負担が少ないものを対象とし，これに該当する自動洗濯乾燥機と食器洗い乾燥機に関して，利用時間をシフトさせるといった制御を行なう．

電力消費のピーク時を下げる目的としては，まず電気の発電には様々な方法があるがこの中には発電効率の悪いものも含んでいる．電力消費が大きくなると発電効率の悪いものも使わなければ電気が足りないことから，このピーク時の電力消費を下げる事で，発電効率の悪いものを削減できる．これにより発電の燃料となるものの消費を抑え結果として省エネを実現させ，また総消費電力量を 0.72 %削減している．

3. 提案手法

本研究では複数の端末間で重複するセンサ機能を，連携する端末の中で割り当てて実行し，情報を共有することにより端末の稼働時間を延ばす事を目指す．本章では，消費電力が最適に平滑化されるようなセンサ機能の割り当てアルゴリズムを提案する．

3.1 概要

既存研究に，外部の端末からセンサ情報を受け取り，それをあたかも自身が観測したかのように振る舞わせるセンサの仮想化技術が提案されている．この研究では，既に一部のセンサ情報を外部の端末から取得することに成功している．そのため将来的に Android 端末に搭載されている全てのセンサが同様に外部の端末から取得できると考えられる．

本稿では，外部の端末と機能の分散，共有が可能であることを前提とし，各端末の消費電力を平滑化するセンサ機能の分割アルゴリズムを提案する．機能の分割のパターンは，端末の数と共有する機能の数に依存し，有限である．また限られた機能分割のパターンの中から消費電力が最適に平滑化されるパターンを導けばよいため，これは組み合わせ最適化問題である．

今回の提案では，この組み合わせ最適化問題を解くために，ある機能分割のパターンに対して評価値を決める評価関数を設定する．次節では評価関数の設定を行なう．

3.2 評価関数の設定

連携する端末間の消費電力を最適に平滑化する機能分割のパターンとは，言い換えれば各端末の消費電力のばらつきが最も小さくなる機能分割のパターンである．そこで本提案では各端末の消費電力の分散値を評価値とし，分散を求める関数を評価関数として採用する．また分散値が最も小さい時の機能分割のパターンが最適解となる．

評価関数の式を明確にするために，まず端末の消費電力を示すモデル式を定める必要がある．モデル式を作成するにあたり，以下の事を考慮する．

- 連携する端末の数を n とし，各端末の消費電力を $P_i(0 \leq i \leq n-1)$ と表す．
- 端末 0 はローカル，それ以外はリモートの端末を意味する．ローカル端末にセンサ情報が必要なアプリケーションが動作する．
- リモート側の端末はセンサ情報を Bluetooth で送信する．このときの消費電力を p_{trans} とおく．
- ローカル側がリモートからセンサ情報を受信する時の消費電力を p_{recev} とする．
- センサや Bluetooth の送受信以外での消費電力をここでは C_i とする．
- センサや GPS をどの端末で使用するかを示す変数 α を設定する．例えば GPS を端末 1 で使用するなら α は 1 の値となる．センサが複数あれば，その数の分だけ変数 α が存在する．
- 関数 $Q(a,b)$ を作成し，$a=b$ なら 1，$a \neq b$ なら 0 を返すものとする．
- 使用する端末のバッテリー容量，残量を一定という条件の元で式を作成する．

簡単な例として, 連携する端末を 2 台とし共有する機能としてGPSを考える．それぞれの端末の消費電力 $P_i(i=0,1)$ は (1) のように表す事が出来る．

$$
\begin{aligned}
P_i(\alpha) = \; & p_{gps} \times Q(i,\alpha_{gps}) \\
& + p_{trans} \times Q(i,\alpha_{gps}) \times \{1 - Q(\alpha_{gps},0)\} \\
& + p_{recev} \times Q(i,0) \times \{1 - Q(\alpha_{gps},0)\} \\
& + C_i
\end{aligned} \tag{1}
$$

例えば，GPS を端末 1 が使用する場合は，$\alpha_{gps}=1$ となり，各端末の消費電力 P_0, P_1 は以下のようになる．

$$
\begin{aligned}
P_0(1) &= p_{gps} \times 0 + p_{trans} \times 0 \times 1 \\
&+ p_{recev} \times 1 \times 1 + C_0 \\
&= p_{recev} + C_0
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
P_1(1) &= p_{gps} \times 1 + p_{trans} \times 1 \times 1 \\
&+ p_{recev} \times 0 \times 1 + C_1 \\
&= p_{gps} + p_{trans} + C_1
\end{aligned}
$$

GPS はリモート端末で動作するため，ローカルの端末は Bluetooth の受信電力が必要である．また，リモート端末は GPS の消費電力とローカルに情報を送信する消費電力が必要である．

(1) は GPS のみの場合であるが，他のセンサの場合も同様の式となる．(2) では GPS やセンサが m 個ある時の消費電力のモデル式である．センサの消費電力を $p_j(0 \leq i \leq m-1)$，それぞれのセンサを使用する端末の番

号を $\alpha_j(0 \leq i \leq m-1)$ とおく．

$$
\begin{aligned}
& P_i(\alpha_0 ... \alpha_{m-1}) \\
= & \quad \sum_{j=0}^{m-1} \{p_j \times Q(i, \alpha_j)\} \\
+ & \quad p_{trans} \times \sum_{j=0}^{m-1} \{Q(i, \alpha_j) \times [1 - Q(\alpha_j, 0)]\} \\
+ & \quad p_{recev} \times \sum_{j=0}^{m-1} \{Q(i, 0) \times [1 - Q(\alpha_j, 0)]\} \\
+ & \quad C_i \qquad (2)
\end{aligned}
$$

評価関数は (2) で表現される各端末の消費電力の分散を求める式なので，以下の (3) の式となる．

$$
\begin{aligned}
F(\alpha_0 ... \alpha_{m-1}) = & \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \{P_i(\alpha_0 ... \alpha_{m-1}) \\
& - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} P_j(\alpha_0 ... \alpha_{m-1})\}^2 \qquad (3)
\end{aligned}
$$

(3) の式を評価関数として使用する．この計算結果が最も小さくなる時の $\alpha_0 ... \alpha_{m-1}$ が最適解となる．

4. 事前実験

今回提案した消費電力のモデル式には，センサの消費電力及び Bluetooth の送受信時の消費電力の値が必要となる．そのため提案手法を評価する前に，それぞれの消費電力を事前に測定する．

4.1 実験概要

センサや Bluetooth の消費電力を測定するため，測定機器には Agilent Tehnologies 社の 34401A Digital Multimeter(図 2) を使用した．測定方法として電圧を 3.70V に固定し，Android 端末で各センサの使用及び Bluetooth の送受信を実行している時の消費電流を測定する．1 ミリ秒毎に電流値を測定し，10 秒間分の電流値のデータ (10000 個) を取得する．取得した電流値の平均値を端末の消費電流とする．そして機能を何も実行していない時の消費電流との差を使用した機能の消費電流とする．この実験では Android 端末に Galaxy Nexus を使用した．

4.2 実験結果

表 1 は Galaxy Nexus に搭載されているセンサの消費電流の測定結果を示す．センサ毎で消費電流が大きく異なるのがわかる．表 2 は Bluetooth の送受信時における消費電流の測定結果を示す．なお Bluetooth の送信間隔を 1s, 100ms, 10ms の 3 つの場合でそれぞれ測定を行なった．測定した結果，送信間隔が短ければ短い程，消費電流が大きくなる事が分かった．

図 2 電流計

表 1 センサの消費電流測定結果

調査項目	消費電流 [mA]
GPS	62.89
加速度センサ	6.52
磁場センサ	5.78
傾きセンサ	17.37
ジャイロセンサ	21.76
光センサ	10.87
圧力センサ	5.08
近接センサ	7.84
重力センサ	22.34
線形加速度センサ	13.97
回転ベクトルセンサ	18.45

表 2 Bluetooth 送受信時の消費電流測定結果

調査項目	データの送信間隔 [ms]	消費電流 [mA]
受信時	1000	12.04
	100	16.54
	10	30.84
送信時	1000	16.61
	100	28.11
	10	60.13

4.3 考察

表 1 と 2 を比較すると，Bluetooth の送信間隔が 10ms の時，GPS 以外のセンサは自身で情報を取得したほうが消費電力が少なくなるが，送信間隔が 100ms の時は，GPS・傾きセンサ・ジャイロセンサ・重力センサ・回転ベクトルセンサの 5 つのセンサは自身で使用するよりも外部の端末からセンサ情報を取得した方が消費電力を減らす事ができる．この結果から機能分割をした時，外部端末からのデータ送信間隔が 100ms より短い間隔だとローカル側の消費電力が大きくなり，平滑化がうまくできない事が分かる．このため消費電力の平滑化を行なうには，外部端末からのデータ送信間隔が 100ms より長くなることが条件として設定される．また加速度センサや磁場センサなどは，自身でセンサを使用した方が消費電力が少なくなるため，これらのセンサは常にローカル側で取得させた方が良いことがわかる．

表 3 機能をローカルが全て実行した場合の消費電流

	ローカル	リモート
割り当てられた機能	GPS 重力センサ ジャイロセンサ	なし
消費電流 [mA]	236.59	173.22

表 4 端末 3 台で機能分割を実行した場合の消費電流

	ローカル	リモート 1	リモート 2
割り当てられた機能	ジャイロセンサ	重力センサ	GPS
消費電流 [mA]	190.90	193.11	237.67

表 5 機能を全てリモートが実行した場合の消費電流

	ローカル	リモート 1	リモート 2
割り当てられた機能	なし	重力センサ ジャイロセンサ	GPS
消費電流 [mA]	182.71	191.35	237.67

5. 評価実験

提案手法の有効性を検証するために，簡単なプロトタイプを実装し，評価実験を行なった．その実験概要，実験結果及び考察を述べる．

5.1 実験概要

評価実験では提案手法により，機能分割を行なったときの各端末の消費電力を測定する．また機能分割をせず 1 つの端末で全ての機能を実行する場合の消費電力を測定し，これらの結果を比較する．消費電力の測定は事前実験と同じ方法で行う．端末は Galaxy Nexus を使用し 3 台使って実験を行う．また分割させる機能として GPS，ジャイロセンサ，重力センサの 3 つを使用する．

プロトタイプの処理としては，提案アルゴリズムにより機能の割り当てを決定した後，リモート側の端末はセンサ情報を取得後，Bluetooth でセンサ情報をローカルの端末に送信させる処理を行なう．ただし事前実験で示したように，Bluetooth の送信間隔は 100ms より長くする必要があるため前回送信してから 100ms 経過していない場合はセンサ情報を送信しない．ローカルの端末は自身に割り当てられたセンサで値を取得した時や外部からセンサ情報を受け取った時にはそのデータを記録するといった簡単な処理を行なう．

5.2 実験結果

表 3 はローカルに全ての機能を実行させた時の消費電流と何も実行していない時のリモートの消費電流を示す．表 4 は提案したアルゴリズムにより機能を割り当て，それぞれの端末の消費電流を測定したものである．表 5 はリモートの端末のみに機能の割り当てを行ない，その消費電流を測定したものである．

5.3 考察

今回実験で使用したセンサは事前実験で測定した Bluetooth の受信時にかかる消費電力よりも大きいセンサを使用した．結果として，センサをリモートに使用するとローカル側の消費電力を削減できることが確認できた．また表 4 の提案アルゴリズムによる機能分割をした時の消費電流をみると，GPS を使用した端末の消費電流が大きくなっているが，事前実験の結果から，GPS は他の二つのセンサに比べて約 40mA 消費電流が大きかったため，その分を考慮すると，この消費電流の差は問題ないと言える．

6. 終わりに

本研究では，複数台の端末が連携し，端末間で重複するセンサ機能を共有することにより，各端末の消費電力を平滑化する．これにより端末の稼働時間を延ばす事を目指す．本稿では，消費電力を最適に平滑化するセンサ機能の割り当てを求めるアルゴリズムを提案した．具体的には，あるセンサ機能の割り当てパターンに対して評価関数を定義した．さらに，提案システムのプロトタイプを実装し，提案手法に対する評価実験を行なった．評価実験の結果，提案したアルゴリズムによる機能分割で消費電力がうまく平滑化できることを確認した．またローカルに全てのセンサ機能を実行させた時と比較して，機能分割を行った場合はローカルの端末の消費電力を約 20 %削減できた．

今回はアルゴリズムの提案にあたり，連携する端末を同一端末かつバッテリー容量，残量などの条件をすべて同じと想定した．今後の課題としては，連携する端末が異なる機種，異なるバッテリー容量の場合でも対応できる機能分割アルゴリズムを定めることが挙げられる．

参考文献

[1] 高松 悠，孫 為華，安本 慶一，山内 由紀子，伊藤 実，“すれ違い通信を活用した複数携帯電話端末による省電力協調動画ダウンロード手法，” 情報処理学会論文誌,Vol.53,No.2,pp.783–794, 2012.
[2] 山下 倫央，幸島 明男，車谷 浩一，“協調省エネ－電力消費のタイムシフトによるマクロなエネルギー削減効果の検証，” 電子情報通信学会信学技報，AI2006-31, 2007.
[3] 組合せ最適化問題 http://www.orsj.or.jp/~wiki/wiki/index.php/\\%E7%B5%84%E5%90%88%E3%81%9B%E6%9C%\\80%E9%81%A9%E5%8C%96%E5%95%8F%E9%A1%8C

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan