

携帯電話で構成したセンサネットワークにおける 統計量集計のための通信回数制御方式の提案

西村 康孝[†] 茂木 信二[†] 吉原 貴仁[†]

株式会社 KDDI 研究所[†]

1. はじめに

携帯電話は加速度や位置等を検知するセンサを備え、携帯電話網を通してセンサ情報を収集するセンサネットワークの端末として利用できる。複数の端末のセンサ情報を集計することで得られる平均値や順位等の統計量は、1つ1つの情報からはわからない検知対象の傾向や特性を提供する。例えば、ジョギング中の複数ユーザから移動速度や移動距離を集計し、移動速度の平均値や移動距離の順位が得られると、地理的に離れたユーザが同時に参加できるマラソン大会を開催し、リアルタイムに参加者全員の平均速度やマラソンの順位を提供できる。統計量を集計する際に使用する携帯電話網の帯域の削減が課題となるが、削減のために集計の頻度を過剰に低くすると、統計量のリアルタイムな変化に追従できず、実際の統計量との誤差が増大する。そこで本稿では、統計量として平均値を対象に、冗長なセンサ情報の送信を抑制しつつ、指定された誤差の範囲内の統計量を集計可能とする、方式を新たに提案する。また、シミュレーションを通じて送信回数と統計量の誤差の観点から提案方式の有効性を評価する。

2. 関連研究

携帯電話で集計したセンサ情報の統計量を共有するサービスの発展が今後予想される。そのサービス例として、マラソン参加者の移動速度から集計した平均速度や、街中のユーザが検知した騒音値から集計した騒音が最小の位置情報等の共有がある。このようなサービスの実現に向けて、膨大なセンサ情報から有用な情報を取り出す、情報のフィルタリング機能の高度化が主要課題となっている[1]。従来方式[2]では、センサ情報の検知と転送を行う中継端末が、自ら検知したセンサ情報と他から受信したセンサ情報を使って統計量を算出し、その統計量のみを次ホップの端末に送信する。これより、冗長なセンサ情報の転送を抑制する。

3. 統計量集計のための通信回数制御方式の提案

3.1. 想定環境

各端末は携帯電話網を用いてインターネット上のサーバへセンサ情報を送信し、その情報をサーバが集計するネットワーク環境を想定する。

Proposal on Control Algorithm of the Number of Communication for Statistical Information in Sensor Network Composed of Mobile Phones
Yasutaka Nishimura, Shinji Motegi, and Kiyohito Yoshihara
KDDI R&D Laboratories Inc.

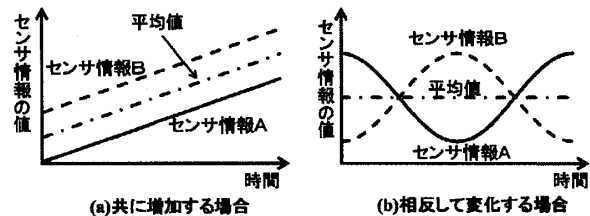


図 1 : センサ情報の挙動例

3.2. 提案方式の基本方針

提案方式は、統計量が大きく変化すると予測される時刻(以下、変化時刻)にのみ、サーバがセンサ情報の送信を端末に要求しセンサ情報を集計する。これより、統計量がほとんど変化しない場合等に冗長なセンサ情報の送信を抑制し、使用帯域の削減を図る。しかしながら、削減のために集計の頻度を過剰に低くすると、統計量のリアルタイムな変化に追従できず、実際の統計量との誤差が増大してしまう。このため、提案方式は誤差を抑制しつつ送信回数の低減を図る。

3.3. 提案方式の概要

提案方式は次の4つの手順からなる。

- (1) ユーザは集計したい統計量を指定する。また、ユーザが許容する統計量の誤差を示すパラメータを指定する。
- (2) サーバは各端末のセンサ情報の時系列変化から統計量の変化時刻を計算する。
- (3) サーバは上記(2)で計算した変化時刻を端末に通知する。
- (4) 端末はサーバから得た変化時刻にのみセンサ情報を送信する。

上記の手順の中で冗長な送信回数の低減に最も寄与する手順は(2)である。様々な統計量があるが、平均値は日常的に幅広く利用されている。さらに、分散、度数分布等の尖り具合を表す尖度、偏差値等、多くの統計量を求める際に必要であることから、本稿では平均値を対象とし、平均値の変化時刻の計算方法を述べる。

3.4. 平均値の変化時刻の計算例

平均値の変化時刻を計算するため、まず、平均値の変化時刻を与えるセンサ情報の挙動の特徴を整理する。図1にセンサ情報A, Bの挙動例を示す。図1(a)のように、センサ情報A, Bが共に増加する場合、平均値も同様に増加する。一方、図1(b)のように、センサ情報A, Bが相反して変化する

る場合、平均値は変化しない。提案方式では、図 1 (b) に着目して送信回数の低減を図る。

続いて平均値の変化時刻の計算手順を述べる。以下、時刻には整数の離散値を用いる。サーバは時刻 t_{now} に端末からセンサ情報を受信した際、平均値の履歴から将来の平均値 $v(t)$ を予測する。予測には最小二乗法や ARMA 等を用いる。次に、変化時刻 t_{next} を次式により計算する。

$$t_{next} = \min\{t \mid |v(t) - v(t_{now})| > \omega\} - 1 \quad (1)$$

ω はユーザが許容する統計量の誤差を示すパラメタである。ここで、平均値の変動が小さいと予測された場合、送信間隔 ($t_{next} - t_{now}$) が広がる。一方、その間にセンサ情報の挙動が急激に変化すると、サーバが最後に集計した平均値 $v(t_{now})$ と、実際の平均値との間の誤差が大きくなってしまふ。これを防ぐため、送信間隔の上限 t_{max} を設定し、変化時刻 t_{next} を次式により再計算する。

$$t_{next} = \min(t_{next}, t_{now} + t_{max}) \quad (2)$$

4. シミュレーション評価

携帯電話等の端末で構成したセンサネットワークを使って平均値を集計する際に、端末の送信回数と統計量の誤差の観点から提案方式の有効性を評価する。

4.1. 評価指標

端末の送信回数、統計量誤差を定義する。

(送信回数) : 端末 1 台当たりのセンサ情報の送信回数。ただし、サーバが送信する変化時刻 t_{next} の通知は、端末の送信に対する ACK に含むことを想定し、送信回数には含まない。

(統計量誤差) : サーバが集計した平均値 $v(t)$ と、実際の平均値 $v_{real}(t)$ との誤差。実際の平均値 $v_{real}(t)$ は、全端末のセンサ情報の値を既知として算出した値である。統計量誤差 E は次式で求める。 t_{end} はシミュレーション時間である。

$$E = 1/t_{end} \sum_{t=0}^{t_{end}} |v(t) - v_{real}(t)| \quad (3)$$

4.2. シミュレーション条件

端末の数は 10 台とし、シミュレーション時間は 10000 秒とした。端末 10 台のセンサ情報は、それぞれ以下の手順により生成した。乱数 $d_{rand}[0, d_{max}]$, $a_{rand}[-a_{max}, a_{max}]$ を発生させ、 d_{rand} 秒間、傾き a_{rand} で変化するデータを生成する。10000 秒分のデータが生成できるまで、上記手順を繰り返す。 d_{max} と a_{max} を調整し、センサ情報の変化が相対的に穏やかな場合 ($d_{max}=100, a_{max}=1$) と、激しい場合 ($d_{max}=50, a_{max}=2$) のセンサ情報を生成した。

平均値の予測には最小二乗法を用い、最小二乗法のパラメタとして、次数を 2、予測で使う履歴数を 3 とした。予測に必要な履歴が不足している場合、端末は 10 秒間隔でセンサ情報を送信する。事前に t_{max} を変化させてシミュレーションを行い、最も良い結果を示した 15 秒を t_{max} の値とした。

提案方式の比較対象として定期通信を用いる。

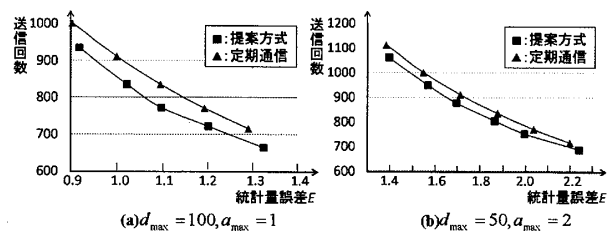


図 2 : シミュレーション結果

定期通信では、全端末は常に一定間隔 d でセンサ情報を送信する。パラメタ d , ω の値を変化させ、定期通信と提案方式の統計量誤差が同程度となる場合の結果を収集した。

4.3. シミュレーション結果とその評価

センサ情報が穏やかに変化する場合 ($d_{max}=100, a_{max}=1$) の結果を図 2 (a) 示す。横軸、縦軸はそれぞれ統計量誤差、送信回数を表す。両方式の統計量誤差が同程度の場合において、送信回数を比較すると提案方式の方が少ない。誤差が約 1.1 の場合、定期通信と提案方式の送信回数はそれぞれ約 834 回と 771 回であり、提案方式は定期通信に対し約 7.6% の送信回数を抑制している。

センサ情報が激しく変化する場合 ($d_{max}=50, a_{max}=2$) の結果を図 2 (b) に示す。統計量誤差が同程度の場合に送信回数を比較すると提案方式の方が少ない。誤差が約 1.7 の場合に比較すると、定期通信と提案方式の送信回数はそれぞれ約 910 回と 876 回であり、提案方式は定期通信に対し約 3.8% の送信回数を抑制している。

以上により、提案方式は定期通信と比較して、同程度の統計量誤差で送信回数が少ないことから、提案方式は有効といえる。特にセンサ情報が穏やかに変化する程、冗長なセンサ情報の送信回数を低減でき、提案方式は有効となる。

5. おわりに

本稿では、携帯電話で構成したセンサネットワークにおいて、統計量集計のための通信回数制御方式を提案した。提案方式では、統計量が大きく変化すると予測される時刻にのみ、サーバがセンサ情報を集計することで、センサ情報の冗長な送信を抑制する。統計量として平均値を取り上げ、シミュレーションにより提案方式の有効性を確認した。他の統計量に提案方式を適用した際の有効性評価が今後の課題である。最後に、日頃ご指導頂く (株) KDDI 研究所 秋葉所長と鈴木執行役員に感謝する。本研究の一部は総務省委託研究「ユビキタスサービスプラットフォーム技術の研究開発」の成果である。

参考文献

- [1] Tarek Abdelzaher et al., "Mobiscopes for Human Spaces," IEEE Pervasive Computing, April-June 2007.
- [2] Elena Fasolo et al., "In-network aggregation techniques for wireless sensor networks: a survey," IEEE Wireless Communications, Vol.14, Issue: 2, pp.70-87, April 2007.