

携帯電話を使ったセンサネットワークにおける

データ送信制御方式の拡張検討

A Study of an Extension for a Data Transmission control
in Sensor Network Using Mobile Phones

西村 康孝†

Yasutaka Nishimura

茂木 信二十

Shinji Motegi

吉原 貴仁†

Kiyohito Yoshihara

1. まえがき

複数の携帯電話から携帯電話網を通して収集したセンサデータの平均値や分散等の統計量は、センサの検知対象の事象の巨視的な特性や傾向を知るうえで有益な情報となる。これまで筆者らは、携帯電話にあらかじめ備わった騒音や加速度等を検知するセンサを使ったセンサネットワークを通してセンサデータの統計量を収集する際の携帯電話網の使用帯域を低減するため、統計量がほとんど変化しない場合等に発生する冗長なデータ送信を避けるデータ送信制御方式を提案している[1]。その方式はインターネットのサーバが、全携帯電話から収集したセンサデータの履歴からセンサデータの統計量のその後の推移を予測し、予測推移の精度がアプリケーションの許容閾値内に収まっている間は携帯電話にデータ送信を避けるように指示することで冗長な送信を避ける。

しかしながら、事象の突発的な変化によって統計量の実際の推移が予測推移から逸脱してしまっても、携帯電話はサーバの指定時刻までデータ送信を避けるため、実際の統計量との誤差が増大してしまう課題があった。

そこで本稿では、逸脱してしまった場合を補完する拡張方式を報告する。拡張方式は、これまでと同様にサーバが送信時刻を決定することに加え、各携帯電話も送信時刻を決定する。実際の推移が予測推移から逸脱した場合、サーバの指定送信時刻より前であってもデータ送信することで統計量の誤差を低減する。

2. 関連研究

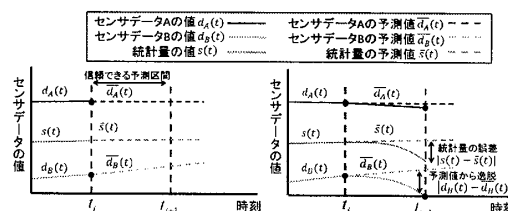
携帯電話は騒音や加速度等を検知するセンサを備え、携帯電話網を通してそれらのセンサデータを収集するセンサネットワークの端末として利用できる。携帯電話を使ったセンサネットワークを通してセンサデータを収集する際には、多数の携帯電話が取得した膨大なセンサデータから統計量等の所望の情報のみを取り出す際の携帯電話網の使用帯域の低減が重要となる[2]。従来研究[3]は携帯電話を使って走行距離を収集し、リアルタイムに走行距離の順位を提供することで、地理的に離れたユーザと順位を競い合うことができる。その際、統計量として順位を対象に、他ユーザとの走行距離の差が大きいユーザはデータ送信頻度を低くする等、走行距離の差に基づきデータ送信を制御することで使用帯域の低減を図る。

3. データ送信制御方式の概要と課題

3.1 データ送信制御方式の概要

筆者らはインターネットのサーバが決定した送信時刻

†株式会社 KDDI 研究所, KDDI R&D Laboratories Inc.



(a)送信時刻の制御例 (b)統計量の誤差の増大例

図1: データ送信制御方式の概要と課題

まで携帯電話が送信を避けることで冗長なデータ送信を避けるデータ送信制御方式を提案している[1]。図1(a)に送信時刻の制御例を示す。横軸は時刻 t 、縦軸はセンサデータの値である。サーバは携帯電話 A 、 B が時刻 t_i に送信したセンサデータの時系列変化 $d_A(t)$ 、 $d_B(t)$ を使って統計量の時系列変化 $s(t)$ を計算する。そしてサーバは、その後のセンサデータの推移 $\bar{d}_A(t)$ 、 $\bar{d}_B(t)$ 並びに統計量の推移 $\bar{s}(t)$ を予測する。 $\bar{s}(t)$ の予測精度が許容閾値外となる時刻 t_{i+1} を次回送信時刻に決定し、 A と B に通知する。ここで、送信時刻の通知はACKに含めることでサーバから携帯電話への送信回数の増加を防ぐことができる。 A 、 B は t_{i+1} まで送信を避けることで冗長なデータ送信を避ける。例えば検知対象が都市の温度等の穏やかに変動する特徴を持つ場合、サーバが予測したその後の予測推移は、実際の推移と同調する可能性が高い。予測精度が許容閾値内となる間は、実際のセンサデータの値は予測値と同等とみなし、その間のデータ送信を要求しないことで冗長なデータ送信を避ける。

3.2 データ送信制御方式の課題

例えば、検知対象がユーザの移動速度のように、突発的に変動する場合、実際の推移は予測推移から逸脱する可能性がある。予測推移から逸脱してしまっても、全携帯電話がサーバの指定時刻までデータ送信を避けるため、実際の統計量との誤差が増大してしまう課題がある。図1(b)の統計量の誤差の増大例では t_i の直後に携帯電話 B の実際の推移 $d_B(t)$ が予測推移 $\bar{d}_B(t)$ から逸脱してしまっているため、次回の送信時刻まで統計量の誤差 $|s(t) - \bar{s}(t)|$ が生じる。

4. データ送信制御方式の拡張方式の検討

4.1 拡張方式の概要

これまで提案してきたデータ送信制御方式において、予測したセンサデータの推移から実際の推移が逸脱してしまつた場合を補完する拡張方式を検討する。

拡張方式の基本方針を以下に示す。

(1)サーバが送信時刻を決定することに加え、携帯電話も送信時刻を決定することを許容する。

(2)各携帯電話は自身のセンサデータの実際の推移がサーバの予測推移から逸脱しているか否かを判断する。

(3)逸脱を検出した場合、統計量の誤差に与える影響度を考慮し、影響度が大きいと判断した場合、サーバの指定送信時刻の前であってもデータ送信する。

携帯電話 j は $|d_j(t) - \bar{d}_j(t)| > 0$ を満たす場合に逸脱したと判断する。影響度の大きさの判断は次節で述べる。

以上のように携帯電話は統計量への影響が大きい予測推移からの逸脱を検出すると、直ちにセンサデータをサーバへ送信することで、統計量の誤差の低減を図る。

4.2 予測からの逸脱の統計量への影響度

前節で導入した拡張により各携帯電話はセンサデータの予測推移から実際の推移が逸脱すると、サーバの指定送信時刻前であってもデータ送信する。ただし、これまでと同様に冗長なデータ送信を避けるために、その逸脱が統計量の変化に与える影響度を考慮し、影響度がアプリケーションの許容閾値内に収まっていれば、データ送信しないと判断する。その判断を行ううえで影響度の定量化が必要となる。影響度の一例として、サーバが送信時刻を決定する時点に知りえた全携帯電話のセンサデータの履歴から予測した統計量と、それらの履歴に加え逸脱した携帯電話の実際のセンサデータの履歴を使って予測した統計量との絶対誤差が考えられる。携帯電話数を n とすると、携帯電話 j の影響度 $I_j(t)$ は次式で表される。

$$I_j(t) = |f(\bar{d}_1(t), \bar{d}_2(t), \dots, \bar{d}_n(t)) - f(d_1(t), d_2(t), \dots, d_n(t))| \quad \text{式(1)}$$

ここで、 f は任意の統計量を計算する関数である。式(1)は携帯電話 j の逸脱が統計量に与える変化の絶対値の予測値を表す。例えば統計量が平均値の場合、影響度は次式で表される。

$$I_j(t) = (d_j(t) - \bar{d}_j(t)) / n \quad \text{式(2)}$$

平均値に対する影響度は他の携帯電話の履歴に無関係であり、携帯電話 j のセンサデータが予測から逸脱する程、かつ携帯電話の台数が少ない場合程、大きくなる。これは同じ逸脱でも台数が少ない程、平均値は大きく変化することを意味する。

許容閾値を ω とすると、携帯電話 j は次式の条件を満たした場合、影響度が大きいと判断しデータ送信する。

$$I_j(t) > \omega / n \quad \text{式(3)}$$

式(3)は影響度 $I_j(t)$ が許容閾値 ω を台数 n で除算した値を超過した際にデータ送信することを表す。これより、 n 台全ての携帯電話が同時に逸脱する最悪の状況においても、統計量の誤差を許容閾値 ω 内に保つことができる。

4.3 拡張方式の処理手順

図2で示したセンサデータの予測推移からの逸脱への対応例を使って拡張した提案方式の手順について述べる。図2の横軸は時刻 t 、縦軸はセンサデータの値を表す。この例は携帯電話 A 、 B のうち B が予測推移から逸脱する。図3(a)はサーバの処理手順であり、図3(b)は携帯電話の処理手順である。

携帯電話 A 、 B は処理を開始すると(m1)、予めサーバが指定した初回のデータ送信時刻 t_1 にセンサデータ $d_A(t)$ 、 $d_B(t)$ をサーバに送信する(m2)。そのデータを受信したサーバ(s2)は、携帯電話のセンサデータ並びに統計量の推移を予測し、予測した情報から次の送信時刻 t_{i+1} を決定し、

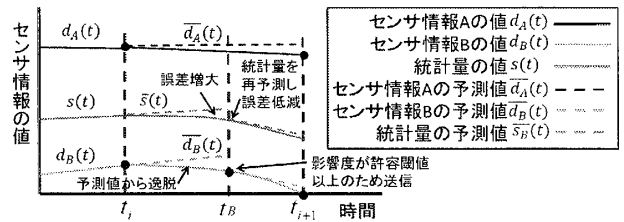
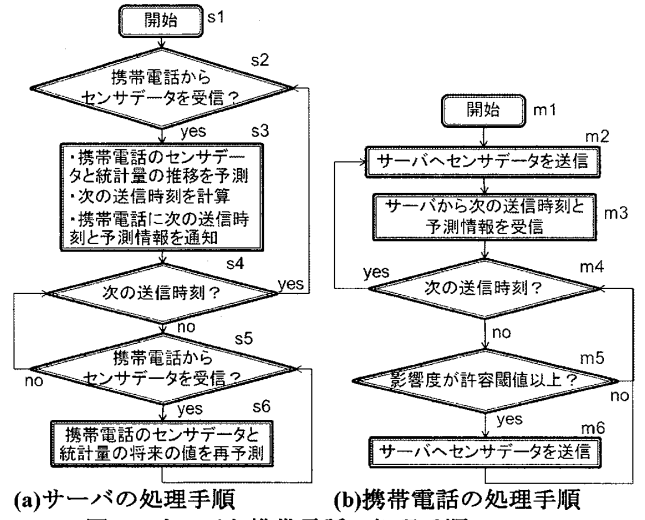


図2：予測推移からの逸脱への対応例



(a)サーバの処理手順 (b)携帯電話の処理手順
図3：サーバと携帯電話の処理手順

携帯電話 A 、 B にセンサデータ並びに統計量の予測推移と、次の送信時刻 t_{i+1} を通知する(s3)。

携帯電話 B は、予測値 $\bar{d}_B(t)$ からの逸脱によって、センサデータをサーバに送信するか否かを判断する。具体的には、その時の時刻が次の送信時刻 t_{i+1} より前であれば、逸脱の統計量への影響度を計算し、予め与えられた影響度の許容閾値と比較する(m5)。影響度が許容閾値以上であればデータ送信する(m6)。

サーバは携帯電話 B からのセンサデータの受信を確認し(s5)、受信したセンサデータを用いて統計量再計算する(s6)。以上のように予測推移から逸脱した場合に対応することで、統計量の誤差を低減する。

5. おわりに

本稿では、これまでに提案しているデータ送信制御方式においてサーバが予測したセンサデータの推移から実際の推移が逸脱してしまった場合を補完する拡張方式を検討した。拡張方式はサーバが送信時刻を決定することに加え、各携帯電話も送信時刻を決定することを許容することで予測推移からの逸脱に対応した。拡張方式の定量的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 秋葉所長と長谷川執行役員に感謝する。

参考文献

[1] 西村他, “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送信制御方式の提案,” 情報ネットワーク研究会, 2010年3月。
 [2] Tarek Abdelzaher et al., “Mobiscopes for Human Spaces,” IEEE Pervasive Computing, 2007.
 [3] Shinji Motegi et al., “Communication Algorithm for Statistic Monitoring in People-Centric Sensing Networks,” In Proc. of International Conference on Networks, 2010.