

携帯電話 GPS の誤差解析と誤差縮小への応用

小高 佑樹^{*1}, 平野 研人^{*2}, 因 雄亮^{*3}, 北爪 繭子^{*1}, 樋口 政和^{*4}, 川崎 秀二^{*5}, 村上 仁己^{*6}

Error analysis of the mobile phone GPS and its application to the error reduction

Yuki ODAKA^{*1}, Kento HIRANO^{*2}, Yusuke IN^{*3}, Mayuko KITAZUME^{*1},
Masakazu HIGUCHI^{*4}, Syuji KAWASAKI^{*5}, and Hitomi MURAKAMI^{*6}

ABSTRACT : In recent years, study of location identification by mobile phone has been attracting a lot of attention. Especially, GPS contents of mobile phone are increasing for the purpose of various kinds of applications, such as games, navigations and etc. So far, many investigations have been carried out for GPS performance by conventional GPS devices, but a few people study mobile phone GPS performance. In this paper, we measured and examined the performance of mobile phone GPS using various types of terminals of different venders under some environments. As for the performance improvement, we propose an efficient method and evaluate it for the results including distance errors and direction errors of GPS. The reduction methods for such errors applying the group characteristics of mobile phones are also described.

Keywords : Mobile phone GPS, distance errors, direction errors, noise reduction, impulse noise

(Received March 25, 2010)

1. 序 論

現在, 携帯電話 GPS を用いたコンテンツは急速に増えてきており, ナビゲーションシステムや緊急時, 災害時の位置情報など携帯電話 GPS は必須機能となっている。この観点から, 我々は携帯電話 GPS の誤差特性を多様な条件で測定, 定量データを積み上げてきた。例えば, ①オープンスカイ, 建物の中など, 様々な場所での誤差量の特性, ②それら誤差の偏りとその推定, ③誤差量の時間再現性, などである[1]-[3]。これまでの研究結果より携帯電話 GPS には, ある条件で, 大きな誤差が生じることが明らかになった。そこで我々はさらに, これら携帯電話 GPS の誤差特性を様々な条件下で検証した。特に, 複数機種を組み合わせた特性(以降群特性と称す)と, この結果を用いた誤差減少方法の検討を行った。

*1 : 理工学研究科理工学専攻修士学生

*2 : 工学研究科電気電子専攻修了生

*3 : 情報科学科学部学生

*4 : 情報科学科博士研究員

*5 : 情報科学科客員研究員

*6 : 情報科学科教授 (hi-murakami@st.seikei.ac.jp)

2. 実験概要

本研究では, 4 社 5 機種合計 8 台の携帯電話を用いて 1 分ごとに GPS 測定を行うことで, 以下に示す 3 つの実験を行った。この実験に用いた携帯電話機種及び台数の構成を表 1 に示す。

実験 1 : 携帯電話の方角による誤差特性

実験 2 : 同期外れによる誤差 (インパルスノイズ)
の解析

実験 3 : 携帯電話 GPS 誤差の群特性

また, 誤差の算出方法として, 測定地点の真値と携帯電話で測定した値との差を, 図 1 のヒュベニの公式に代入することで算出した[4]。なお, 真値の決定については, Google マップサービスより参照した値を真値とした。

表 1. 5 機種 8 台の携帯電話の機種構成

携帯電話機種	①	②	③	④	⑤
メーカー	A	B	C	C	D
台数	1	1	1	3	2

ヒュベニの距離計算式

$$D = \sqrt{(M * \Delta P)^2 + (N * \cos(P) * \Delta R)^2}$$

$$M = a * (1 - e^2) / \sqrt{(1 - e^2 \sin^2(P))}$$

$$N = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2(P)}$$

D: 2点間の距離(m)
P: 2点の平均緯度
 ΔP : 2点の緯度差
 ΔR : 2点の経度差
M: 子午線曲率半径
N: 卯酉(ほうゆう)線曲率半径
M: 子午線曲率半径
N: 卯酉線曲率半径
f: 扁平率
F: 逆扁平率
e: 第一離心率
a: 長半径

$f = 1/299.152813$
 $F = 1/f$
 $e = \sqrt{2F - 1}/F$
 $a = 6377397.155(m)$

*a, fの値は、測量法施行令第2条の2に定める楕円体の値を参考にした。

図 1. ヒュベニの距離計算式

後述する実験 1 では端末①-A を用い、実験 2, 3 では、5 機種 8 台すべての携帯電話で実験を行った。

3. 実験 1：携帯電話の方角による誤差特性

一般的に携帯電話の GPS アンテナは、ユーザーの利用姿勢を考慮しているため、ディスプレイ側の上端に配置されている。そこで、携帯電話で GPS 測位を行う際に得られる誤差は、測定する向きに依存するかについて、アンテナの方角を一定時間ごとに東西南北と変え、オープンスカイな環境のもとで測定を行った。次に、それら結果について、平均誤差と誤差分散図を用いて検証および評価を行った。実験結果を表 2 および図 2-1～図 2-4 に示す。

表 2. 方角ごとの GPS 誤差量

方角	東	西	南	北
誤差平均(m)	13	14	14	12
最大誤差(m)	62	56	49	122
最小誤差(m)	0	0	1	0
分散	94	109	99	97

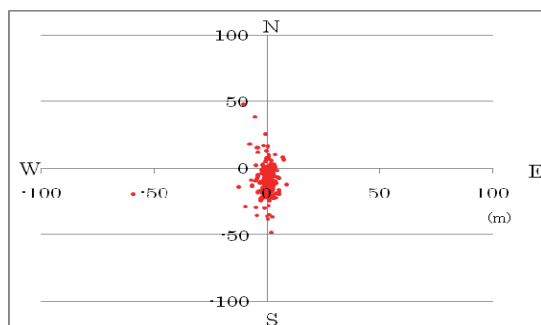


図 2-1. 東方向による誤差分散図

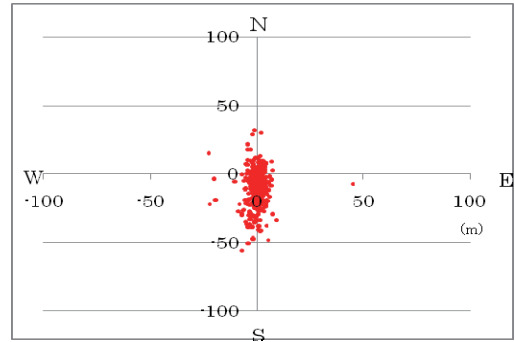


図 2-2. 西方向による誤差分散図

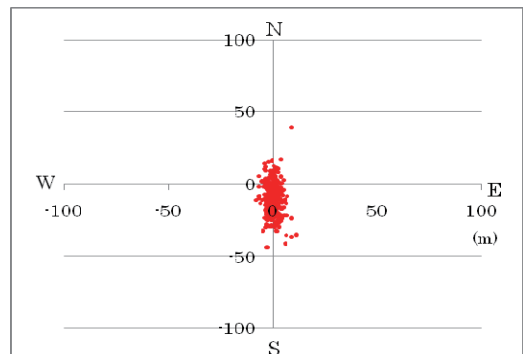


図 2-3. 南方向による誤差分散図

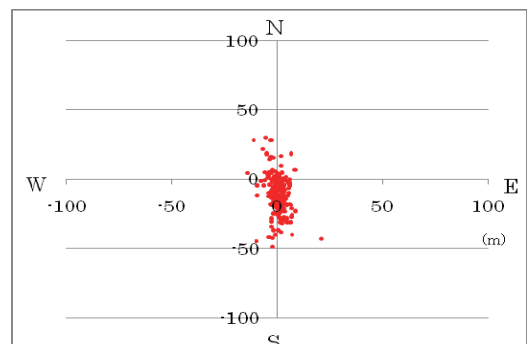


図 2-4. 北方向による誤差分散図

これらの結果から、一部最大誤差に若干の差はあるが、誤差平均、分散を比較すると東西南北ともほぼ同じ結果である。このことから方角による特性差はなく、ユーザーは、測定する向きに依存せず GPS を用いた携帯電話サービスを使えることが確認できた。

4. 実験 2：同期外れによる誤差（インパルスノイズ）の解析

4. 1 インパルスノイズの特性

これまで我々は、携帯電話での GPS 測位を多様な条件で行ってきたが[1]-[3]、その多くのデータの中に稀ではあるが数百 m から数千 m 以上の誤差が検出された。こ

のような大きな誤差は、GPS の有用性を著しく低下させる。我々は、そのような誤差を‘同期外れによる誤差’、もしくは、‘インパルスノイズ’と称した。ここでは、屋内および屋外で 5 機種 8 台の携帯電話に対して、同じ環境で、同時に長時間測定を行い、各メーカー、各機種で発生するインパルスノイズの特性を検討した。さらにこのインパルスノイズの低減方法についても考察した。

また、約 24 時間分の測定結果を統合し累積確率分布を求め、インパルスノイズの発生時間割合を確認した。以降、100m 以上の誤差をインパルスノイズと定義した。これらの実験で得られた、代表的なインパルスノイズ特性を示した結果の一部を図 3-1、図 3-2 および図 4-1、図 4-2 に示す。

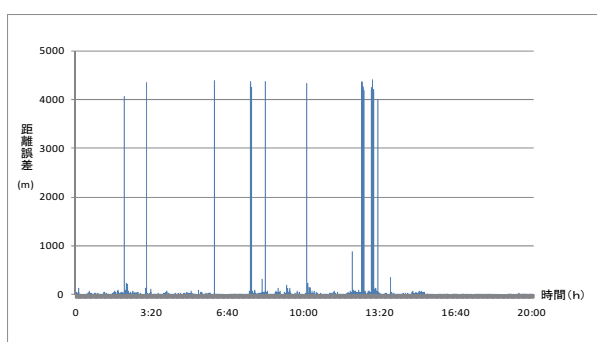


図 3-1. 端末④-C-1 による屋内でのインパルスノイズ測定結果(端末④-C-2 と同一機種)

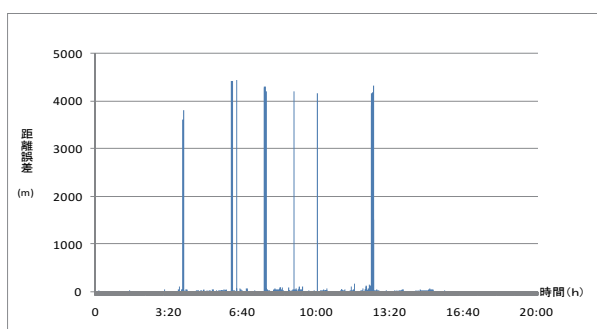


図 3-2 端末④-C-2 による屋内でのインパルスノイズ測定結果(端末④-C-1 と同一機種)

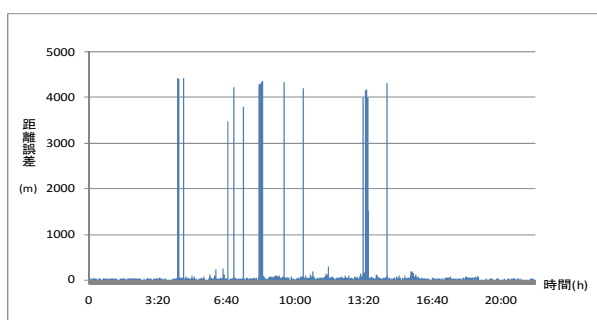


図 4-1. 端末④-C-3 による屋内でのインパルスノイズ測定結果

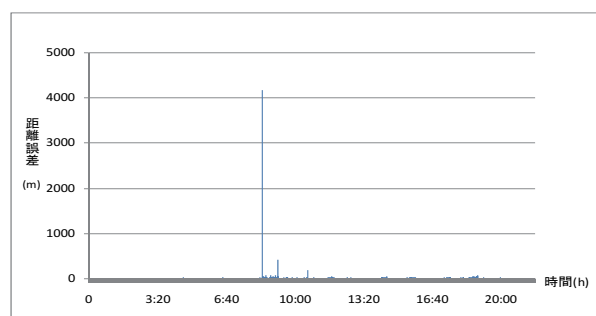


図 4-2. 端末③-C による屋内でのインパルスノイズ測定結果

図 3、図 4 より、携帯電話 GPS 測定時に起きるインパルスノイズは、図 3-1、図 3-2 が示すように、同じメーカーかつ同じ機種であれば発生するタイミングがほぼ同一の結果となる。また、図 4-1、図 4-2 が示すように、機種が異なれば、たとえ同じメーカーでもインパルスノイズの発生特性は大きく異なることが確認できた。また、インパルスノイズは一度発生すると連続性が高いことも確認できた。

4. 2 インパルスノイズの低減方法

このようなインパルスノイズの低減方法として、 n 点移動平均法を考案した。 n の値を 3、5 としたときの低減効果を図 5-1～図 5-3 に示す。図 5-1 は基本的な誤差測定結果、図 5-2、図 5-3 は図 5-1 の結果に、それぞれ 3 点および 5 点移動平均処理した結果である。

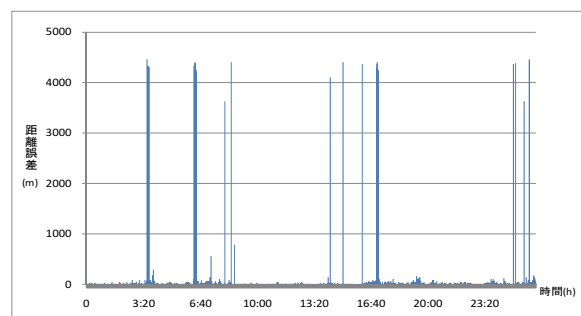


図 5-1. 端末④-C-3 による屋内での測定結果

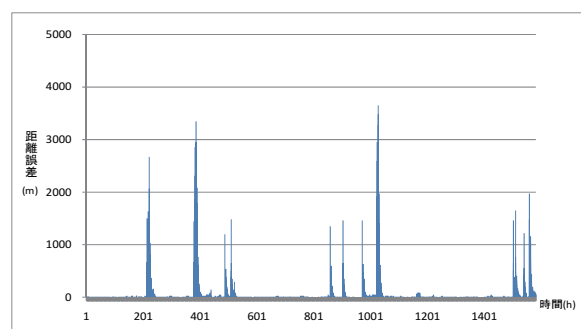


図 5-2. 端末④-C-3 による測定結果（図 5-1）に 3 点移動平均法を行った結果

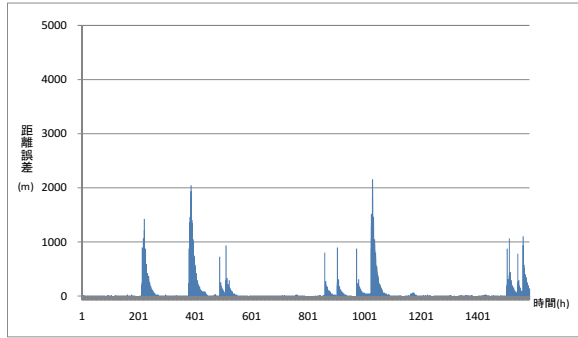


図 5-3. 端末④-C-3 による測定結果（図 5-1）に 5 点移動平均法を行った結果

図 5-1～図 5-3 から、 n 点移動平均法を適応することでインパルスノイズの最大値を大きく低減できることを立証した。この n 点移動平均法の n の値を大きくすることで低減効果はさらに高まるが、誤差量が時間方向に拡散する。そのため、インパルスノイズが連続で発生している場合では、低減効果は小さい。

4. 3 インパルスノイズ発生率

続いて、屋外、屋内におけるインパルスノイズ発生率について、累積確率分布および確率密度の測定結果を図 6-1、図 6-2 に示す。

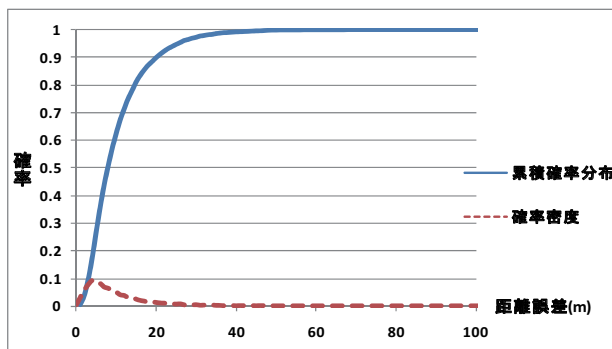


図 6-1. GPS 誤差の累積確率分布(屋外)

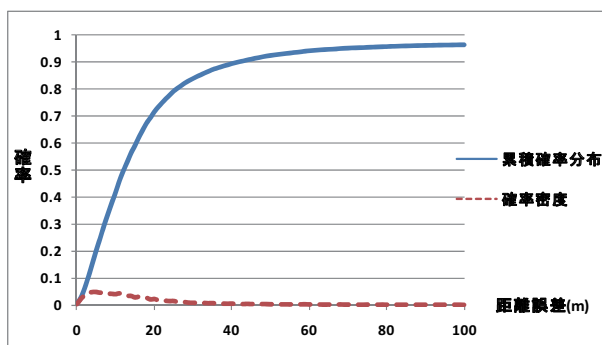


図 6-2. GPS 誤差の累積確率分布(屋内)

これらの累積確率分布の結果より、インパルスノイズが発生する割合は、屋外、屋内それぞれの時間率で 0.2%、3.5% となった。屋外では 0.2% という低い発生頻度であったが、屋内ではマルチパス等の誤差要因のため、屋内よりも 10 倍以上のかなり多い発生頻度であった。

4. 4 GPS 誤差特性の定式化

8 台の携帯電話でこれまで測定した屋外データに基づき、GPS 誤差分布の定式化を行った。その手法としては、まず、GPS 誤差頻度の確率を距離誤差別に求め、その関係をグラフで表現した。次に、この近似曲線は、以下の式 (1) のガンマ分布確率密度関数で近似できるものと想定し、ガンマ分布確率密度関数のパラメータ α 、 β を最小二乗法により決定した。

$$f(x, \alpha, \beta) = x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} (1/\beta^\alpha \Gamma(\alpha)) \cdots \cdots (1)$$

ここで $\Gamma(\alpha)$ はガンマ関数を表す。

最小二乗法の計算方法としては、GPS 誤差が x_k [m] である確率を y_k とし、これらの値 y_k と近似曲線 $f(x_k, \alpha, \beta)$ との差異 $d_k = (y_k - f(x_k, \alpha, \beta))^2$ ， $k=1, 2, \dots, 100$ の合計である次式

$$S = \sum_{k=1}^{100} d_k = \sum_{k=1}^{100} (y_k - f(x_k, \alpha, \beta))^2$$

の値が最小になるような α 、 β を定める。 S を α 、 β のそれぞれで偏微分し、それらを $\partial S / \partial \alpha = 0$ ， $\partial S / \partial \beta = 0$ と置くことで得られる連立方程式で解くことによって α 、 β が求まる。結果を図 7 に示す。

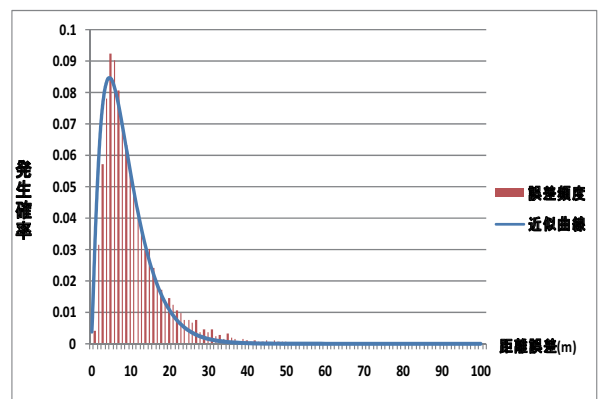


図 7. 誤差の頻度およびガンマ分布近似曲線
(屋外での例)

このように最小二乗法によりパラメータを算出した結果、屋外における GPS 誤差特性は、式(1)のパラメータ α , β がそれぞれ 2.1, 4.3 のガンマ分布確率密度関数で表現できた。なお、屋内の誤差特性では α , β はそれぞれ 1.6, 9.1 であった。

5. 実験3：携帯電話GPS誤差の群特性

5.1 群特性の検証と評価

今後の GPS の使われ方として、①多くの携帯電話保有者が同時に、同じ場所で使用する、②GPS が内蔵された多くのセンサーが密に近傍に配置されること、が想定される。このような状況を踏まえ、複数携帯電話 GPS 測位誤差間の相関を求めた。実験方法は、同じメーカー間の端末で、特に同機種・異機種間、また異なるメーカー間の端末間に、どのような特性差を示すかを吟味するため、前述実験2に加え、再度8台の長時間測定を行った。また、測定端末は、すべて同方向、半径1mの円の範囲内に設置、実験を行った。

まず、携帯電話8台分の誤差データをまとめたものを下記の表3-1、表3-2（屋外の場合）および表4-1、表4-2（屋内の場合）に示す。測定結果のデータ数がそれぞれ異なるのは、測定途中で通信状態や、サーバの状態により、端末によっては、データの自動送信に失敗する場合があったためである。また屋内、屋外とも安定して少ない誤差量を示す端末②-Bが良好な特性を示した。

表3-1. 屋外における実験結果(距離誤差)

機種名	①-A	②-B	③-C	④-C-1
誤差平均(m)	10	12	11	9
最大誤差(m)	58	117	296	191
最小誤差(m)	0	0	0	0
分散	59	83	646	72
同期外れ(100m以上)	0	1	13	1
データ数	1608	1348	1475	1590

表3-2. 屋外における実験結果(距離誤差)

機種名	④-C-2	④-C-3	⑤-D-1	⑤-D-2
誤差平均(m)	9	8	11	11
最大誤差(m)	58	56	238	231
最小誤差(m)	0	0	0	0
分散	50	46	180	253
同期外れ(100m以上)	0	0	2	8
データ数	1448	1367	904	1063

表4-1. 屋内における実験結果(距離誤差)

機種名	①-A	②-B	③-C	④-C-1
誤差平均(m)	283	13	19	140
最大誤差(m)	4678	96	4169	4414
最小誤差(m)	0	0	0	0
分散	975352	118	19120	466226
同期外れ(100m以上)	317	0	5	82
データ数	2707	2617	1810	1594

表4-2. 屋内における実験結果(距離誤差)

機種名	④-C-2	④-C-3	⑤-D-1	⑤-D-2
誤差平均(m)	85	86	50	22
最大誤差(m)	23192	4458	4396	4134
最小誤差(m)	0	0	0	0
分散	420428	266686	125164	19840
同期外れ(100m以上)	74	70	59	24
データ数	2637	2077	1716	2144

これらの表から、同じ機種同士の誤差量に関しては、最大誤差は前述のインパルスノイズを含め若干の違いはあるものの、平均誤差はほぼ同じであることが確認できた。次に各端末間での誤差に相関があるか、前項実験結果の各誤差間の同一時間間での相互相関係数を求め、検証した。表5にその結果を示す。

表5. 携帯電話間の距離誤差および方向誤差の相関係数

	組み合わせ	屋内		屋外	
		距離誤差の相関	方向誤差の相関	距離誤差の相関	方向誤差の相関
[1]	①-A & ②-B	0.15	0.21	0.16	0.2
[2]	①-A & ③-C	0.16	0.22	0.06	0.13
[3]	①-A & ④-C-1	0.32	0.33	0.1	0.26
[4]	①-A & ④-C-2	0.11	0.13	0.2	0.29
[5]	①-A & ④-C-3	0.11	0.14	0.21	0.3
[6]	①-A & ⑤-D-1	-0.01	0	0.12	0.29
[7]	①-A & ⑤-D-2	0.1	0.12	0.09	0.09
[8]	②-B & ③-C	0.09	0.08	0.11	0.22
[9]	②-B & ④-C-1	0.05	0.1	0.26	0.41
[10]	②-B & ④-C-2	0.05	0.1	0.15	0.12
[11]	②-B & ④-C-3	-0.03	0.05	0.26	0.39
[12]	②-B & ⑤-D-1	-0.01	0.04	0.16	0.33
[13]	②-B & ⑤-D-2	-0.03	0.02	0.09	0.22
[14]	③-C & ④-C-1	-0.01	0.01	0.05	0.14
[15]	③-C & ④-C-2	0.22	0.23	0.03	0.2
[16]	③-C & ④-C-3	0.01	0.01	0.02	0.08
[17]	③-C & ⑤-D-1	0.01	0.02	-0.01	0.1
[18]	③-C & ⑤-D-2	0	0.01	-0.03	0.12
[19]	④-C-1 & ④-C-2	0.35	0.36	0.39	0.46
[20]	④-C-1 & ④-C-3	0.4	0.42	0.28	0.4
[21]	④-C-1 & ⑤-D-1	-0.01	0	0.14	0.34
[22]	④-C-1 & ⑤-D-2	-0.03	0	0.09	0.16
[23]	④-C-2 & ④-C-3	0.34	0.35	0.34	0.44
[24]	④-C-2 & ⑤-D-1	-0.01	0	0.16	0.3
[25]	④-C-2 & ⑤-D-2	-0.01	0	0.09	0.17
[26]	④-C-3 & ⑤-D-1	-0.01	0	0.2	0.31
[27]	④-C-3 & ⑤-D-2	-0.01	0	0.07	0.2
[28]	⑤-D-1 & ⑤-D-2	0.09	0.08	0.15	0.07
	Average	0.09	0.11	0.14	0.24

各相互相関は、屋内での距離誤差と方向誤差[5]に関しそれぞれ平均 0.09, 0.11 であった。その中でも若干ながら同じ機種同士の相関は高いことがわかる。また、屋外では距離誤差と方向誤差はそれぞれ平均 0.14, 0.24 となり、屋内の場合よりも高い相関となる。その中でも屋内同様、同じ機種同士の相関は若干ではあるが高い、という結果が得られた。

これらの結果から同じメーカーの機種において距離誤差、方向誤差の相関が若干ながら高いことを確認した。しかし、その他の機種間では、採用している GPS チップ(今回の実験では全て Qualcomm 製)が同じであっても、ほぼ零の相関となることから、GPS 測位誤差は、各メーカーのアンテナの端末内での位置、構造および感度に大きく依存すると考えられる。

5. 2 測定地点の真値推定

5.1 で述べた携帯電話 GPS 誤差の群特性の実験結果から、各機種間の相互相関係数は全体的に低いことを確認した。このほぼ零に近い相互相関を利用し、複数の携帯電話を用いることで、誤差を減少させることによる測定地点の真値の推定を行った。以降、真値推定法と定義する[6]。

真値推定法は、GPS 誤差の和を示す以下の式(2)で表現できる。場所 x での推定値を $f^{\wedge}(x)$ とすると

$$f^{\wedge}(x) = F(x) + \sum_{i=1}^N n(x_i) / N \quad \cdots \cdots (2)$$

$F(x)$: 真の位置

$n(x_i)$: 端末 i でのノイズ

N : GPS 誤差測定端末数。

携帯電話 GPS 誤差の各相関係数が低いことから、式(2)の誤差量を決定するノイズの値 $\sum_{i=1}^N n(x_i) / N$ は 0 に近付く。

このような概念に基づいて、まず、基本となる 1 台ごとの GPS 誤差の平均と、2 台から 8 台までの各種組み合わせでの真値推定法の結果を図 8 に示す。この図では、各端末の組み合わせである $8Cn(n=2\sim8)$ についての平均推定量と最大推定量、最小推定量を示している。

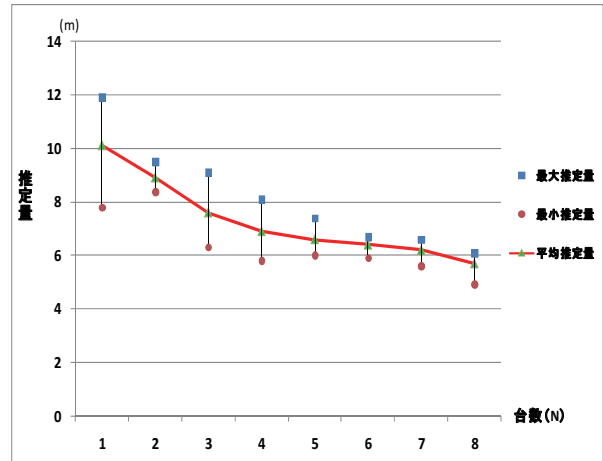


図 8. 端末数 N についての誤差推定量

表 6. 推定前(8 台の端末平均)と推定後の誤差量

	推定前	推定後
誤差平均 (m)	15	6
最大誤差 (m)	46	41
最小誤差 (m)	4	0
分散	35	37

この結果から端末数 n の値が高いほど GPS 誤差は減少可能であることを確認した。

次に、8 台の距離誤差の平均を推定前と推定後で比較を行った。その結果を表 6 および図 9 に示す。

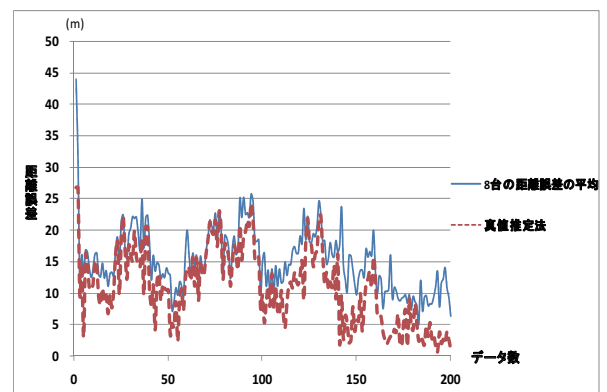


図 9. 8 台の距離誤差平均と真値推定法の特性比較

この真値推定法を行うことで、8 台の携帯電話を用いると GPS 測位誤差を、単独での誤差に比べ 50%以下に抑えることが可能である。

6. まとめ

これらの実験結果は、以下のようにまとめられる。

- ① GPS 誤差特性は、携帯電話の向き(東西南北)に依存しない。
- ② 稀にはあるが、同期外れ(インパルスノイズ)が発生し、そのときの誤差量は非常に大きい。その発生時間率はオープンスカイの条件では 0.2%程度であるが、GPS 衛星が見えにくい屋内では、3%~4%程度に増加する。また、その発生量及びタイミングは機種に大きく依存する。
- ③ このインパルスノイズの低減法として、n 点 (n=3, 5) 移動平均法は、非常に有効である。
- ④ GPS 誤差分布はガンマ分布で良く近似できる。
- ⑤ 複数の携帯電話 GPS 間の関係を示す群特性において、距離誤差、方向誤差の機種間相互相関は低い。この特性を用いて、複数端末の GPS 誤差を単純加算することで、さらなる測定地点の真値推定が可能である。

7. 今後の課題

今後は携帯電話機種ごとに GPS のアンテナ特性、アンテナの感度や構造についての詳細な検討と、これらを用いた誤差特性の詳細化が必要である。また、GPS 電波や基地局との関係の解析も必須であると考えられる。

謝 辞

本実験を実施するに当たり、KDDI 研究所滝嶋康弘グループリーダーには、多大なご援助とアドバイスを頂いた。また本研究の一部は、文科省戦略的研究基盤形成支援事業によって行われた。記して、感謝する。

参考文献

- [1] 塚田 哲也, et al.: “携帯電話 GPS 特性の詳細測定とその検討”, ITE Technical Report Vol33, No.11, pp.29~32 Feb 2009
- [2] K. Hirano, Y. In, M. Kitazume, M. Higuchi, S. Kawasaki and H. Murakami, “Method of Event Location Identification Using GPS and Camera Function of Mobile Phones” WSEAS TRANSACTIONS on INFORMATION SCIENCE and APPLICATIONS ISSN:1790-0832, Issue 11, Volume 6, November 2009
- [3] 因 雄亮, 小高佑樹, 北爪繭子, 平野研人, 樋口政和, 川崎秀二, 村上仁己 “携帯電話内蔵 GPS の位置精度” 成蹊大学 理工学研究報告 第 46 巻 第 2 号 (2009)
- [4] ヒュベニの距離計算式 : <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/algorithm/ellipse/ellipse.htm>
- [5] 杉山康平, 中山雅哉 “IAA システムにおける生存者情報の自動位置情報登録とその評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol103 No. 345, pp1-6, 2003
- [6] 小高佑樹, 北爪繭子, 平野研人, 樋口政和, 川崎秀二, 村上仁己 “携帯電話 GPS の特性評価-GPS 誤差の群特性-” 映像情報メディア学会メディア工学研究会 2010 年 2 月