

都市区画における GPS 衛星の見通し判定を 用いたナビゲーション精度向上法の提案

勝田悦子^{†1} 内山 彰^{†1,†2}
山口弘純^{†1,†2} 東野輝夫^{†1,†2}

GPS は多くの携帯電話に搭載され、我々の生活に欠かせないものとなっているが、都市部においてはビルなどの障害物による遮蔽や反射・回折の影響を受け、測位誤差が大きくなることが知られている。そこで本研究では GPS の見通し状況と建物情報を利用した位置推定精度向上法を提案する。提案手法では都市部においてビルなどにより GPS 衛星の見通し状況が端末の位置及び衛星の位置ごとに変化し、それに伴って信号の受信状況が変化することに着目する。周辺の建物情報に基づく GPS 見通し状況を各地点において事前に計算することでフィンガープリントを構築し、受信状況から推定した GPS の見通し状況とのマッチングによって位置精度向上を図る。その際、複雑な GPS 受信状況に対する堅牢性を実現するため、信頼性の低い見通し状況推定結果を事前観測に基づき除外する。大阪駅周辺で取得したデータを用いて性能を評価した結果、確率 0.9 で平均誤差 17.9m 相当の領域を特定できることが分かった。

Navigation Enhancement Using GPS Line-of-sight Detection in City Sections

ETSUKO KATSUDA,^{†1} AKIRA UCHIYAMA,^{†1,†2}
HIROZUMI YAMAGUCHI^{†1,†2} and TERUO HIGASHINO^{†1,†2}

In recent years, many mobile phones are equipped with GPS, which is essential for our daily life. It is well known that GPS error increases in urban areas due to multipath and shadowing caused by buildings. In this research, we propose a navigation enhancement method using GPS Line-Of-Sight (LOS) detection. We exploit the facts that surrounding buildings change depending on positions, and that GPS signal status changes depending on positions of GPS satellites and GPS receiver, and its surrounding buildings. The proposed method builds fingerprints of GPS LOS status for each position based on building information. Location estimation is performed by fingerprint matching of estimated GPS LOS status. For robust estimation of GPS LOS status against

the complex GPS signal reception, we eliminate unreliable estimation results based on offline learning. The performance evaluation using a real data set obtained around Osaka station shows that the proposed method can achieve the average error of 17.9m at the probability of 0.9.

1. はじめに

携帯電話の普及とともに米国での E911¹⁾ を始めとして緊急通報時に発信者の位置を通知することが求められるようになり、現在ではほとんどの携帯電話に GPS が搭載されるようになった。このような背景から、GPS により取得した位置情報を用いた様々なサービスが提供されている^{2),3)}。より高度なナビゲーションサービスを提供するため、我々は文献 4) において GPS の受信状態に基づく屋内外判定法を提案している。これに対して本研究では GPS の受信状態に加えて地図情報を利用して、GPS 衛星の見通し状況を推定し、端末の存在する位置の範囲を絞り込むことで屋内外の判定も含めた位置精度向上法を提案する。GPS による測位を行う場合には、携帯電話などの GPS 受信機が GPS 衛星から送信されたタイムスタンプ付きの信号を受信し、受信時刻との差 (Time Of Arrival: TOA) によって距離を推定する。GPS 衛星の位置は軌道情報として取得可能なため、4 つ以上の GPS 衛星からの距離が推定できれば、それに基づき GPS 受信機の位置を推定可能である。一般に GPS 衛星からの推定距離情報が多いほど測位は高精度になるため、見晴らしの良い屋外では GPS 位置推定誤差は小さくなる。一方で、多くの高層ビルが存在する都市部や屋内ではマルチパスやシャドウイングの影響により電波到達時間が増加し誤差が数十 m 以上に増加したり、信号に対する雑音が増加することで信号の復号に必要な信号対雑音比 (Signal to Noise Ratio: SNR) を実現できずに距離の推定ができなくなる場合がある⁵⁾。

そこで都市部において GPS の精度を向上させるため、GPS 受信機を改良することでマルチパスを検出する手法⁶⁾ などが考案されているが、新たな受信機の導入が必要となるためコストが高い。また、GPS 衛星と同じ信号を発信する基地局を設置することで、既存の GPS 受信機に対する最小限の修正で GPS 衛星の信号が得られない環境でも測位を可能にする屋内 GPS(IMES) と呼ばれるシステムの開発も進んでいる⁷⁾ が、基地局を多数設置す

^{†1} 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Japan

^{†2} 独立行政法人 科学技術振興機構, CREST

Japan Science and Technology Agency, CREST

る必要がある。一方で GPS を利用せず、携帯電話や WiFi の基地局からの電波強度に基づき位置を推定する手法⁸⁾も存在するが、誤差は基地局の配置と推定対象の位置によって数十 m から数百 m に及ぶため、正しい位置から数ブロック離れた場所と推定される場合も多く、複雑な都市部におけるナビゲーションなどの位置情報サービスを提供するためには不十分である。

そこで本研究では GPS が搭載された携帯端末における位置推定精度を向上させる手法を提案する。都市部ではビルなどが障害物となるため、周辺の建物状況に依存して GPS 衛星の見通し状況が場所ごとに変化し、それに応じて信号受信状況が変化することに着目し、通常の GPS 測位では利用しない GPS 信号の SNR 情報を利用して位置の絞り込みを実現する。提案手法では、まず建物の配置や高さを含む地図情報と衛星の配置情報を基に、地図上の各地点において全衛星の方向・高さに対する見通し状況をフィンガープリントマップとしてあらかじめ計算しておく。GPS 衛星の見通し状況の変化に伴い GPS 信号の SNR も変化することから、受信した GPS 信号の SNR に基づいて推定した見通し状況と最も類似するフィンガープリントの領域をフィンガープリントマップから求めることで、GPS 受信機が存在する領域を特定する。これにより特定された領域を GPS や WiFi などを用いた従来手法による測位結果と併用することで推定位置を絞り込み、位置精度の向上を実現する。その際、都市部において GPS 信号はマルチパスやシャドウイングの影響を受けるため、場所によって SNR が複雑に変化するという問題がある。そこで提案手法では SNR から見通し状況を推定する際に事前観測から SNR に応じた推定成功確率を決定しておくことで、成功確率の低い（信頼できない）見通し状況推定結果を除外してフィンガープリントのマッチング精度を向上させる。

提案手法の性能を評価するため、JR 大阪駅周辺を対象にフィンガープリントマップを構築し、実際に取得した GPS 信号に基づきフィンガープリントの一致率を評価した結果、完全一致率は約 70% であり一つだけ異なる値を持つフィンガープリントとの一致率は約 20% であることが分かった。この結果より、提案手法では正しい位置を含むような平均面積 1003m² の領域を約 90% の割合で特定でき、平均誤差は 17.9m に相当することが確認できた。

2. Global Positioning System

2.1 GPS の概要

GPS 受信機の位置を知るためには、GPS 衛星から取得できる時刻、受信可能な GPS 衛星の仰角・方位角、各衛星の SNR を含む表 1 に示す NMEA 形式の GPS データを用いる。

表 1 NMEA : GPS データ形式
Table 1 NMEA:GPS Data format

Header	Type	形式
GPGGA	Time	AAAA.AA
	Latitude	XXXX.XXXXXX, A(N or S)
	Longitude	XXXX.XXXXXX, A(E or W)
GPGSV	Total number of messages	0-4
	Message number	0-4
	Total number of SVs in view	0-16
	SV PRN number	1-50
	SNR	0-99
	Elevation	0-90
	Azimuth	0-360

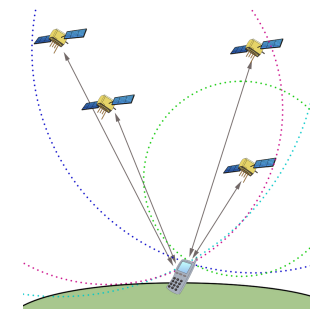


図 1 GPS による測位
Fig. 1 GPS Localization

GPGGA センテンスには GPS 衛星がデータを送信した時刻が含まれており、この時刻と受信機がデータを受信した時刻との差分と、電波の速さ（光速）により衛星と端末の距離を算出する。また GPS 衛星は衛星のアルマナック情報・エフェメリス情報と呼ばれる衛星の軌道情報を定期的に送信する。アルマナック情報とエフェメリス情報はそれぞれ全衛星のおおよその軌道と各衛星の詳細な軌道を表す。これらの軌道情報から各 GPS 衛星の位置を計算し、GPGSV センテンスに含まれる衛星の仰角と方位角を求めることにより衛星の位置が分かる。この 2 つの情報によってそれぞれの衛星の位置と、衛星と GPS 受信機間の距離が分かるため、三点測量により端末を測位することが可能となる（図 1）。

受信端末が軌道情報を事前に取得していれば迅速に測位を開始することが可能であるが、アルマナック情報、エフェメリス情報はそれぞれ一度に6日分、4時間分しか取得できずその間受信端末の電源を切るなどして軌道情報が受信できない場合、測位開始時に再び軌道情報を取得しなければならない。衛星の軌道情報を全て受信するためには約12分の時間を必要とするため、ナビゲーションの開始に約12分かかり、その間は端末の位置が分からない⁹⁾。この問題を解決するためにA-GPS (Assisted GPS)¹⁰⁾が考案された。A-GPSでは衛星からではなく携帯電話の基地局などからその回線を通して衛星の位置情報を取得するため、GPS受信機を起動後、迅速に測位を開始することができる。これは実際に携帯端末のGPSナビゲーションで用いられている¹¹⁾。また、位置誤差を修正する技術としてD-GPS(Differential GPS)⁹⁾が挙げられる。電離層などの大気の影響によって起こる衛星の位置誤差は、近い位置では同じようにあらわれる。そのため、地理的にGPS受信機と近い基地局など正確な位置が分かる地点で衛星の現在位置とその誤差を推定し、他のGPS受信機にその誤差情報を送信すれば誤差の修正が可能となる。

2.2 GPS衛星の見通し状況とSNRの関係

以降では、GPS衛星と受信機間に障害物が存在しない場合をLOS(Line-Of-Sight)、それ以外の場合をNLOS(Non-Line-Of-Sight)と表記する。一般にLOSの場合、GPSからの信号に対するノイズは少ないためSNRは高くなる。逆にNLOSの場合は信号強度が低下し、ノイズが増加するためSNRは低下する。しかし、障害物は遮蔽だけでなく反射や回折も引き起こすため、実際にはSNRは場所によって複雑に変化し、SNRが高くてもNLOSの場合があるなどLOS/NLOSの判断が難しい。

実際にJR大阪駅周辺で取得したGPS信号のLOS/NLOS別のSNR分布を図2に示す。グラフよりLOSのSNRは平均35dBであり、SNRの最も強い40dB付近にピークがあることが分かる。一方でNLOSのSNRはLOSの場合と異なり分布がおおよそ二つに分かれており、それぞれ最も弱い0dB付近と中程度の25dB付近にピークが存在する。LOSのSNRのほとんどが高い値になっている理由は、GPS衛星と受信機間に障害物が存在せず、信号の減衰も雑音も少ないためである。一方でNLOSの分布が分かれている理由は、障害物によって信号が遮断され受信できなくなる場合と、遮断されても反射や回折によって信号が受信機まで到達する場合があるためと考えられる。以上のことから、LOS、NLOSそれぞれについて、SNRの分布は異なっており、SNRの値によってはLOS/NLOSのどちらかを高い確率で特定できる場合があることが分かる。3章で述べる提案手法ではこの性質に着目し、各衛星から受信したSNRに対してLOS/NLOSの特定が高い確率で成功するもの

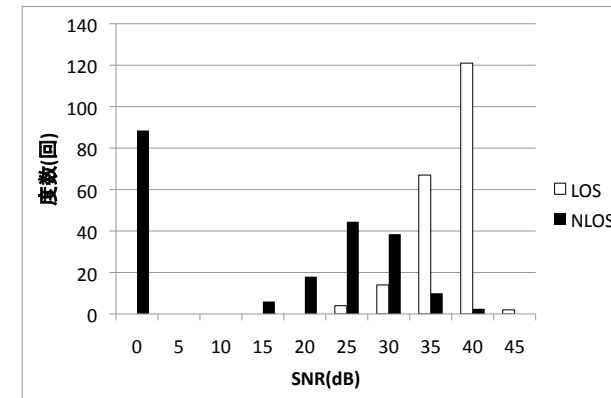


図2 LOS/NLOSのSNR分布
Fig.2 SNR distribution of LOS/NLOS

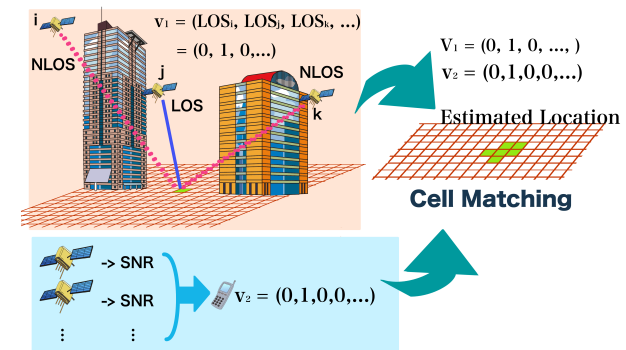


図3 提案手法の概要
Fig.3 Overview of the Proposed Method

みを利用することで、複雑なSNRに対して堅牢な位置推定を実現する。

3. GPSの見通し状況を用いた位置精度向上法

3.1 提案手法の概要

提案手法の概要を図3に示す。まず建物の位置と高さなどの形状情報に基づき各地点に

おける各衛星からの見通し状況をあらかじめフィンガープリントマップとして構築しておく。次に、2.2節で述べたように、GPS衛星 g からの SNR_{s_g} に基づきGPS衛星の見通し状況(LOS/NLOS)を推定可能であり、提案手法では g の見通し状況に対する推定結果が正しい確率(見通し状況の推定成功確率) $p(s_g)$ は SNR_{s_g} に応じて決まるものと仮定する。 $p(s_g)$ は時間的・空間的に偏りのない環境におけるSNRの実測値と見通し状況を事前に一定数以上収集することで決定する。この仮定の下である時刻に取得した各GPS衛星 g からの SNR_{s_g} に基づき推定した見通し状況とフィンガープリントマップ内の各セルのフィンガープリントとのマッチングを行い、最も見通し状況が類似する領域を推定位置とする。このとき、見通し状況の推定成功確率 $p(s_g)$ が閾値 p_{TH} 以上となる全ての衛星 g に対する見通し状況のみを類似度計算に用いることで、マルチパスの影響を受けて複雑に変化するSNRに対して堅牢なマッチングを実現し、一致率を向上させる。

3.2 フィンガープリントマップの構築

フィンガープリントマップは建物情報と衛星位置から算出されるGPS衛星の見通し状況からあらかじめ構築される。建物 o の位置と形状が与えられれば、セル c の位置と衛星 g の位置を両端とする線分 \overline{cg} とセル c 周辺の建物と交わるかどうかを調べることでLOS/NLOSを判定し、それを全ての衛星位置について計算することで、セル c のフィンガープリントを構築可能である。提案手法では簡単のため建物 o を直方体と見なす。以降では、議論を簡単にするためフィンガープリントマップを2次元平面として扱うが、同様の概念を3次元に拡張することも可能である。フィンガープリントマップの構築では、対象領域を正方セルに分割し軌道情報から衛星 g の位置を想定した時に、各セル c において線分 \overline{cg} が周辺の建物 o を構成する面 f と交わるかどうかによってLOS/NLOSを計算する。

セル c の中心座標及び衛星 g の座標をそれぞれ $(x_c, y_c, 0), (x_g, y_g, z_g)$ とし、建物 o の直方体を構成するある面 f の頂点座標を

$$(x_{o1}, y_{o1}, 0), (x_{o2}, y_{o2}, 0), (x_{o3}, y_{o3}, h), (x_{o4}, y_{o4}, h)$$

とする。このとき、線分 \overline{cg} と面 f の交差判定は以下のようにして行われる。

まず、面 f の法線ベクトルと線分 \overline{cg} の点から、面 f を含む平面を線分が貫通しているかを調べる。面 f の法線ベクトル \vec{n}_f は

$$\vec{n}_f = (x_{o1} - x_{o3}, y_{o1} - y_{o3}, -z_{o3}) \times (x_{o2} - x_{o3}, y_{o2} - y_{o3}, -z_{o3})$$

によって求まる。次に、

$$C = (x_c - x_{o1}, y_c - y_{o1}, 0) \cdot \vec{n}_f$$

$$G = (x_g - x_{o1}, y_g - y_{o1}, z_g) \cdot \vec{n}_f$$

としたとき、 $CG < 0$ であれば面 f を含む平面と線分 \overline{cg} が貫通していることになる。 $\vec{c}\vec{g} = (x_g - x_c, y_g - y_c, z_g)$ とおけば、貫通する点 D は以下の式で求められる。

$$D = (x_c, y_c, 0) + \vec{c}\vec{g} \frac{C}{G - C}$$

この点 D が面 f に含まれていれば、線分 \overline{cg} と面 f が衝突していることになり、セル c における衛星 g の見通しはNLOSとなる。

従って、フィンガープリントを計算する対象のセルから一定距離内の(見える可能性がある)建物を構成する全ての面 f に対して、上記のように線分 \overline{cg} と f が交差するかどうかを判定することで、交差する場合にはLOS、そうでない場合はNLOSとしてフィンガープリントを構築する。同様に上記の計算をマップ上の全セルに対して行うことで、フィンガープリントマップの構築が完了する。同一のフィンガープリントを持つセルはフィンガープリントのマッチングではそれ以上位置を絞り込むことができない同一セグメントであり、一つのフィンガープリントとして扱われる。なお、水平に近い地点ではノイズなどの影響を多く受けるため、仰角が閾値 ϕ_{TH} 以下の衛星は方位角に関わらずNLOSとする。

3.3 SNRに基づくGPS衛星の見通し状況推定

事前に収集したSNRと、その収集地点におけるフィンガープリントマップでの各衛星の見通し状況に基づき、GPS衛星の見通し状況推定成功確率を各SNRに対して導出する。SNR s に対するLOS/NLOSの観測回数をそれぞれ $L_s, N L_s$ とすると、SNR s に対する見通し状況推定成功確率 $p(s)$ は以下の式で定義される。

$$p(s) = \max\left\{\frac{L_s}{L_s + N L_s}, \frac{N L_s}{L_s + N L_s}\right\}$$

実際にJR大阪駅近辺でAndroid端末を用いて取得したデータを用いて導出したSNR s に対する見通し状況推定成功確率 $p(s)$ を図4に示す。見通し状況推定成功確率の導出には約15分間のGPSデータを用い、LOS衛星・NLOS衛星はそれぞれ800個のデータを利用した。この結果より、SNRが20~28の場合は推定成功率が0.7以下と低く、一方でSNRが29以上、または19以下の場合はLOSまたはNLOSと推定する成功率が0.7以上であることが分かる。

3.4 フィンガープリントマップとのマッチング

まず、提案手法ではマルチパスの影響により見通し状況の推定が困難な衛星をSNRの値に基づき除外する。これは、実際に測定したSNR s とその見通し状況に基づき決定した見通し状況推定成功率 $p(s_g)$ について、 $p(s_g) < p_{TH}$ となる場合に衛星 g をフィンガープリントのマッチングから除外する。このようにして上記条件を満たすような衛星 g で構成さ

れる見通し状況推定結果を用いて、フィンガープリントマップにおける各セルとのマッチングを行う。

衛星 g に対する見通し推定結果 LOS^g を以下のように定義する。

$$LOS^g = \begin{cases} 1 & (\text{if } g \text{ is LOS}) \\ 0 & (\text{if } g \text{ is NLOS}) \end{cases}$$

このとき、ある時点で取得した SNR によって得られた見通し推定成功率 p_{TH} 以上となる衛星数を N とすれば、見通し状況 \vec{v} は N 次元のビット列で表される。 \vec{v} とフィンガープリントマップとのマッチングは、セル c におけるフィンガープリントを \vec{v}_c とすれば、 \vec{v} に含まれる衛星のみを対象としたハミング距離 $H(\vec{v}, \vec{v}_c)$ が最小となるようなセル c を決定することにより行われる。

すなわち、見通し状況の推定結果

$$\vec{v} = (LOS^1, LOS^2, \dots, LOS^N)$$

とすれば、ハミング距離 $H(\vec{v}, \vec{v}_c)$ は以下の式によって計算される。

$$H(\vec{v}, \vec{v}_c) = \sum_{i=1}^N LOS^i \oplus LOS_c^i$$

このとき、取得した見通し状況 \vec{v} とフィンガープリントマップ FP とのマッチングとは、以下のようにハミング距離最小となるセル c を特定することである。

$$\text{find } c \in FP \text{ that minimizes } H(\vec{v}, \vec{v}_c)$$

4. 性能評価

4.1 評価環境

性能評価は大阪駅前第1ビル周辺の地図を想定してシミュレーションを行った。まず評価に利用するデータを取得した正しい位置における見通し状況と、それを基準にした周辺セルの見通し状況とのハミング距離を求め、GPS 衛星の見通し状況推定に誤差があった場合においても、精度誤差が収束することを示す。さらに、実際に都市環境において取得したデータを用いてビルの谷間、ビル街の四つ角など都市環境における特徴的な位置において誤差の収束がどのように変化するかを評価した。

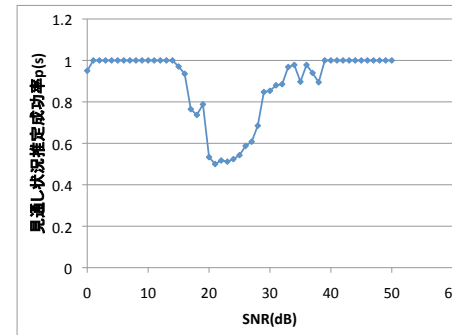


図4 見通し状況推定成功率

Fig.4 Probability of Correct LOS/NLOS Estimation

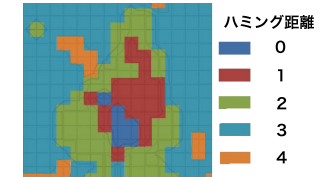


図5 ハミング距離地図

Fig.5 Map of Hamming Distance

4.2 ハミング距離による精度評価

衛星の見通し状況推定が誤って判定された場合の誤差は、正解セルのビット列とハミング距離においてどの程度近いセルが存在するかで決定できる。ここで、ある時刻において利用可能な GPS 衛星数を n 、GPS 衛星の見通し状況推定成功率を p とすると、正しい範囲(セグメント)に位置が推定される確率は p^n と表される。また、見通し状況が k 個誤っていた場合においては、ハミング距離 k のセグメントに一致するハミング距離 k 内の範囲に正しく推定される確率は $\sum_{i=0}^k {}_n C_i \times p^{n-i} (1-p)^i$ となる。

図4に示した GPS 衛星の見通し状況推定成功率に対して $p_{th} = 0.7$ とすれば、見通し状況推定成功率はそれらを除いて平均 0.96 である。また、各時刻において見通し状況推定成功率が 0.7 以上である衛星、つまり見通し状況の信頼性の高い衛星個数の平均は 6.7 個であったため、 $p = 0.96$ 、 $k = 7$ として以下の式に代入すると、 $P = p^k + {}_k C_n \times p^{k-n} (1-p)^n = 0.97$ となりハミング距離 k 以内のセルへの推定確率 P は 97% の割合でハミング距離 1 以内のセル上に推定される。図5は正解位置のフィンガープリントとのハミング距離を図示したものである。各セルの1辺は 4m としているため、ハミング距離 1 のセルが占める面積は $432m^2$ となり、この面積の形を円とした場合の推定誤差は 11.7m となる。このことから見通し状況推定成功率を用いて信頼性の高い衛星のみの情報を用いることで位置推定誤差が小さくなることが示された。

4.3 都市環境における精度評価

本節では都市環境の様々な地点で実際に取得したデータを用いて評価を行う。4.2 節で表



図 6 実験環境

Fig. 6 Experiment Environment

したものと同様に、ある時刻において利用可能な GPS 衛星数を k 、GPS の見通し状況推定成功率を各衛星について p_1, p_2, \dots, p_k とする。

実験を行った場所は大阪駅前第 1 ビル周辺の 7 地点であり、各地点の位置を図 6 に示す。表 2 では各地点を基準としたハミング距離と平均確率、誤差面積、誤差面積を円形と仮定した場合の半径である想定誤差を表している。見通し状況が同等のセルはマップ上の離れた地点に複数箇所分散している可能性があるが、ここでの誤差面積・誤差範囲は分散しているセルのうちのどれに相当するか GPS や WiFi などの位置情報、さらに移動軌跡などと併用することで特定可能と見なして数値を計算している。この表から実際の都市環境における平均誤差は $32.1m$ であることが分かる。地点 4 など周辺の建物との位置関係に特徴のある四つ角近辺においてはその誤差がかなり小さく、ハミング距離 2 の場合においても $9.58m$ と $10m$ 未満であることが分かる。

実際に図 7 と図 8 は、地点 2・地点 4 におけるハミング距離分布を表したものである。図の赤色部分がハミング距離 0 で正解セルと合致するセルである。これを見ると正解位置近辺以外にも道路の形や周辺のビルとの位置関係が似たような関係にある範囲においてはハミング距離が小さくなり、正解位置との判定が難しいことが分かる。図 7 では、正解地点 2 の近くにもハミング距離 0 のセグメントが存在するが、両側に建物がある地点 2 と似たような周辺環境を持つ地点 7 においてもハミング距離 0 のセグメントが存在することが分かる。また、図 8 では、正解地点 4 はかなり高精度に判定されているが、南北方向に建物が存在する地点 3 近辺においてもハミング距離が 0 のセグメントが存在することが分かる。こ

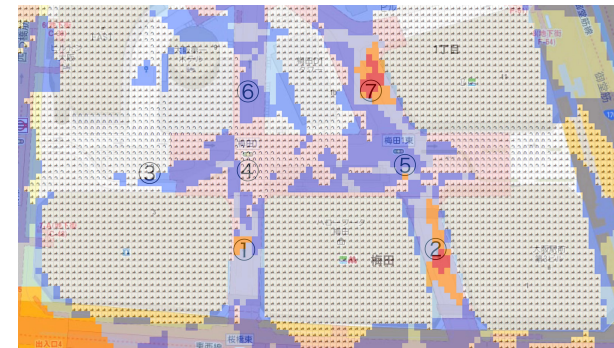


図 7 地点 2 におけるハミング距離マップ

Fig. 7 Map of Hamming Distance at Point 2

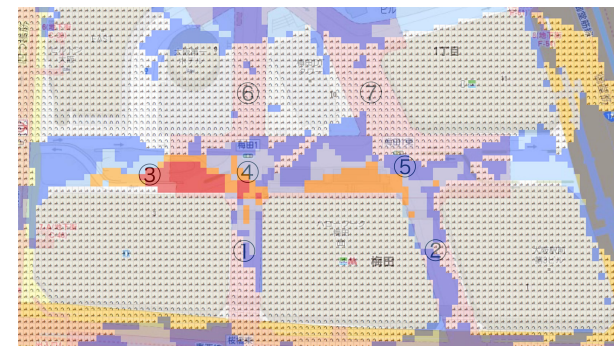


図 8 地点 4 におけるハミング距離マップ

Fig. 8 Map of Hamming Distance at Point 4

のようなセグメントの存在により誤差が大きくなることが考えられるが、長期間データを取得することによって、確率 0.90 で平均誤差 $17.9m$ の想定誤差範囲に端末位置が補正されるため、ビル街における数十メートルの GPS 誤差を補正することができると考えられる。このことから、道路など地形を考慮することでビル街などの環境において GPS 精度向上を見込むことが可能である。

表 2 都市環境におけるハミング距離と平均確率, 誤差面積, 想定誤差
Table 2 Hamming Distance, Probability of Matched Area Size and Corresponding Error

地点	ハミング距離	平均確率	誤差面積 (m ²)	想定誤差 (m)
1	0	0.702	464	12.2
	1	0.952	1152	19.2
	2	0.998	12704	63.6
2	0	0.614	128	6.38
	1	0.924	416	11.5
	2	0.990	896	16.9
3	0	0.661	864	16.6
	1	0.914	1152	19.2
	2	0.980	1280	20.2
4	0	0.679	80	5.05
	1	0.934	288	9.58
	2	0.988	288	9.58
5	0	0.517	160	7.14
	1	0.855	1216	19.7
	2	0.967	2384	27.6
6	0	0.530	560	13.3
	1	0.878	2480	28.1
	2	0.974	4336	37.2
7	0	0.546	256	9.03
	1	0.879	320	10.1
	2	0.965	720	15.1

5. ま と め

本研究ではナビゲーションの高度化を目標として、GPS が搭載された携帯端末における位置推定精度向上手法を提案した。提案手法では都市環境において生じるビルなどの障害物による衛星の見通し状況が場所によって変化し、それに伴って GPS 信号の SNR が変化することに着目し、通常の GPS 測位では利用しない SNR 情報を利用して位置の絞り込みを実現する。このため、建物の位置や高さ情報と衛星の配置から、地図上の各地点における各衛星に対する見通し状況をフィンガープリントマップとして事前に構築しておき、受信した GPS 信号の SNR に基づき推定した見通し状況とのマッチングにより現在位置を推定する。その際、マルチパスやシャドウイングの影響により場所によって複雑に変化する SNR 情報の中から信頼できる情報のみを利用することで、マッチング精度の向上を図っている。

大阪駅周辺で取得した GPS データを用いて提案手法の性能を評価した結果、約 90% の割合で平均面積 1003m² の領域を特定できることが確認され、平均誤差は 17.9m に相当することが分かった。今後の課題として、GPS や WiFi など既存の測位手法を組み合わせた位置推定アルゴリズムの設計や、GPS 衛星からの電波伝搬モデルを導入したシミュレーションによる性能評価、スマートフォンを用いた実証実験などが挙げられる。

参 考 文 献

- 1) Commission, F. C.: Enhanced 9-1-1 - Wireless Services, Federal Communications Commission (online), available from <http://transition.fcc.gov/pshs/services/911-services/enhanced911/Welcome.html> (accessed 2011-10-16).
- 2) Google.com: GoogleMap, Google.com (online), available from <http://maps.google.com/> (accessed 2011-1-12).
- 3) Ubusuna.inc, Eponet, Casareal and TechMatrix: omote navi, Ubusuna.inc and Eponet and Casareal and TechMatrix (online), available from <http://omotenavi.jp/index.html> (accessed 2011-1-13).
- 4) 勝田悦子, 内山彰, 山口弘純, 東野輝夫: GPS 受信状態を用いた屋内外判定法, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-MBL-60, No.11, pp.1-8 (2011).
- 5) Modsching, M., Kramer, R. and ten Hagen, K.: Field trial on GPS Accuracy in a medium size city: The influence of built-up, *In Proc. of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication*, pp.209-218 (2006).
- 6) Soloviev, A. and Dickman, J.: Extended GPS Carrier Phase Availability Indoors With A Deeply Integrated Receiver Architecture, *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol.18, No.2, pp.36-44 (2011).
- 7) Kohtake, N., Morimoto, S., Kogure, S. and Manandhar, D.: Indoor and Outdoor Seamless Positioning using Indoor Messaging System and GPS, *In Proc. of 2011 Int. Conf. on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp.21-23 (2011).
- 8) Rekimoto, J., Miyaki, T. and Ishizawa, T.: LifeTag: WiFi-based Continuous Location Logging for Life Pattern Analysis, *In Proc. of 3rd Int. Symposium on Location- and Context-Awareness (LOCA2007)*, pp.35-49 (2007).
- 9) Kojiro, R.: わかりやすい GPS 測量, Ohmsha (2010).
- 10) Djuknic, G.M. and Richton, R.E.: Geolocation and Assisted GPS, *IEEE Computer*, Vol.2, No.2, pp.123-125 (2001).
- 11) KDDI: Technology Point — 研究開発 (R&D) — KDDI 株式会社, KDDI (オンライン), 入手先(http://www.kddi.com/corporate/r_and_d/tech/question/2.html) (参照 2012-2-2).