

ratio of 90% in 7 seconds after the indoor/outdoor environments are switched depending on environments.

GPS 受信状態を用いた屋内外判定法

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

携帯電話の普及とともに携帯電話に GPS を搭載することが求められるようになり、ナビゲーションなどの目的で GPS を利用する機会が増えている。本研究では GPS の新しい利用方法として、Signal to Noise Ratio(SNR) など GPS の受信状態を用いて端末が屋内・屋外のどちらに存在するかを判定する方法を提案する。このため、様々な屋内外環境において GPS の受信状態を収集し、各環境での特性から事前に判別モデルを構築しておくことで、屋内外判定をリアルタイムに実行する。屋内外判定により、屋内外で位置推定法をシームレスに切り替えたり、地図情報と組み合わせた位置推定の精度向上などの実現が期待される。提案手法の精度を確認するため、郊外や都市部など様々な屋内外環境で GPS の信号強度を収集し環境に応じて評価した結果、屋内外が切り替わってから 7 秒で 90% の判定成功率を達成できることを確認した。

Distinguishing Indoor/Outdoor Using Training Data of GPS Status

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

Global Positioning System (GPS) has been widely used in our daily life because it is required to equip a cell phone with a GPS receiver for emergency services. In this paper, we propose a novel method using GPS status such as Signal to Noise Ratio (SNR) for estimating whether a GPS receiver is located in an indoor environment or an outdoor environment. To achieve this, we have collected GPS status in various indoor/outdoor environments, and a discriminant function is constructed based on those GPS status. We can discriminate between indoor and outdoor GPS status by the discriminant function. The results of the discrimination can be used for many useful services such as rapid switching of localization methods and localization accuracy enhancement combined with map information. Through real experiments in various environments such as urban and residential areas, we have evaluated the accuracy of the proposed method. The results show that the proposed method achieves the success

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 が搭載されているため、ナビゲーションなどの目的で GPS を利用する機会が増えている。GPS では複数の GPS 衛星から受信機までの信号の伝搬時間 (Time of Arrival(ToA)) を計測することで各衛星と受信機の距離を推定し、GPS 衛星の位置情報と組み合わせることで受信機の位置を推定する。GPS 衛星からの信号は本来の目的である測位だけでなく、GPS 衛星からの信号に含まれる時刻情報を利用した時計の同期にも用いられる。

本研究では GPS の新しい利用方法として、GPS の信号強度を用いて端末が屋内・屋外のどちらに存在するかを判定する方法を提案する。GPS に関連する文献は数多く存在するが、精度向上や GPS の測位結果を使ったアプリケーションがほとんどであり、屋内外の判定を目的としたものは我々の知る限り見当たらない。例えば、文献 2) では GPS の信号強度が人体や建物の遮蔽によって低下することを明らかにし、GPS の精度を向上させるため遮蔽された GPS 信号を判別する手法を提案している。また、文献 3) においても GPS 衛星の位置と、屋内環境におけるその距離誤差との関係を明らかにし、屋内での GPS 利用の精度向上を検討している。一方、GPS を使わずに端末が屋内・屋外のどちらに存在するかを判定する文献はいくつか存在する。文献 4) では建物内に携帯網の基地局を設置し、その基地局からの電波を端末が一定時間以上受信した場合に屋内と判定する。同様に文献 5) ではあらかじめ屋内に設置された RFID タグとの通信状態により、端末が屋内にあるかどうかを判定する。しかし、これらの手法は基地局の設置・維持が必要となるためコストが高い。

本研究では基地局などのインフラを仮定しない環境においてリアルタイムな屋内外判定を実現することを目的とする。このため住宅地などの郊外や高層ビルが並ぶ都市部など様々な屋内外環境において GPS の受信状態を収集し、環境ごとの特性を把握することにより GPS

^{†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

受信状態の特徴を事前にモデル化する。構築した判別モデルを使って GPS の受信状態からリアルタイムに屋内外判定を行う。GPS の受信状態は Signal to Noise(SNR) 値、測位衛星数、測位の可否状態のそれぞれに対する重み付き線形和として数値化され、閾値に基づき屋内外の判定がなされる。特に一定期間の SNR 変化量が屋内外の切り替わりで大きく変化することを実験から示し、これに着目して安定した判定結果が得られるように工夫している。

屋内外判定を利用したアプリケーションはいくつか考えられる。例えば、屋外から屋内に入ったことを迅速に検知し、GPS から自律航法 (Dead Reckoning)⁶⁾ などの屋内向け位置推定法に切り替えることで、位置推定精度の悪化を防ぐことができる。また、都市部などであらかじめ建物の場所に関する情報を用意しておき、GPS の位置情報と組み合わせることで、GPS の位置情報を補正することも可能である。また、デジタルサイネージなどでも特定の建物に入ったことを検知した場合に、広告やおすすめ情報を表示するといった利用法が考えられる。駅に到着した時に時刻表を表示したり、地下街やショッピングモールに入った場合にそのモールの地図を表示するなどのアプリケーションも実現できる。

GPS 受信機を用いて郊外や都市部など様々な屋内外環境で GPS の信号強度を収集し、提案手法の精度を評価した。評価結果から全体の学習データを用いた場合の屋内外判定の成功率は 80% であり、特に場所ごとに判別モデルを構築した場合は高精度に屋内外判定が可能なが分かった。

2. Global Positioning System

2.1 GPS の仕組み

GPS から取得できる情報には、時刻、受信可能な GPS 衛星の仰角・方位角、各衛星の SNR(Signal to Noise Ratio) が含まれる。提案手法では表 1 に示す NMEA 形式の GPS データを用いる。GPGGA センテンスにはデータ送信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、GPGSV センテンスには衛星の仰角と方位角が含まれ、これ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)。

しかし衛星の軌道情報を取得するために最大で 10 数分かかることもあり、その間は端末の位置が分からない。この問題を解決するため、A-GPS (Assisted GPS)⁷⁾ 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。また、位置誤差を修正する技

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

Header	Type	形式
GPGGA	時刻	AAAA.AA
GPGSV	メッセージ数	0-4
	メッセージ番号	0-4
	可視衛星数	0-16
	衛星番号	1-50
	SNR	0-99
	仰角	0-90
	方位角	0-360

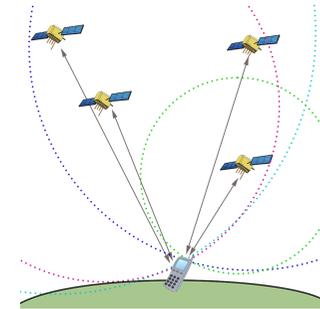


図 1 GPS による測位
Fig.1 GPS Localization

術として D-GPS(Differential GPS)⁸⁾ が挙げられる。電離層などの大気の揺らぎ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 受信機と比較的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 屋内外での GPS 信号の違い

一般に屋内では GPS が利用できないと考えられているが、実際は屋内でも GPS 衛星からの信号を受信可能な場合が多い。文献 9) では、感度が良い GPS 受信機を用いて様々な屋内での測位を行い、場所によっては屋内でも GPS による測位が可能なることを明らかにしている。我々は実際に屋内・屋外での GPS の受信状態の違いを明らかにするため、大阪大学情報科学研究棟近辺で GPS 信号の受信状態を調査した。図 2 は実際の移動履歴と GPS で取得した移動履歴を示している。GPS で取得した移動履歴は屋内での測位結果が実際の位置から大きくずれるため、実際の移動履歴から大きく外れている。表 2 は屋内・屋外それぞれにおける測位成功・失敗回数をそれぞれ示しており、屋外 46 回と屋内 51 回の全てで測位に成功していることが分かる。

実環境で建物に入った際の仰角の異なる 3 つの GPS 衛星の SNR の変化を図 3 に示す。仰角の低い衛星は建物に近づくにつれて徐々に SNR が低下する一方、仰角の高い衛星は建物付近または建物に入ってからしばらくして SNR が急激に変化していることが分かる。この理由は、図 4 のように建物が周辺に存在すると、GPS 衛星からの信号が遮られて減衰することから、仰角が高い衛星(例えば図 4 の衛星 A)ほど建物付近で LOS/NLOS が切り替わるためである。また、建物に出入りした瞬間に SNR が変化するのではなく、SNR の

表 2 屋内/屋外での測位成功・失敗数
Table 2 Indoor/Outdoor Localization Success and Failure

	測位成功	測位失敗
屋外	46	0
屋内	51	0



図 2 屋内外での GPS 測位可否
Fig. 2 GPS Localization in Indoor/Outdoor Environment

急激な変化が見られるタイミングが衛星によって前後している理由は、衛星の位置によって建物に入り出した時に LOS/NLOS が切り替わるタイミングが異なるためと考えられる。

しかしこのような現象発生をとらえるだけでは、実際に建物の中に入ったか否かを判定することは難しい。例えば都市部のように高層ビルの周囲の歩道を歩いていることも考えられる。したがって、提案手法では建物の入り口付近に近づいたことを SNR の急激な変化からとらえ、屋内外が切り替わる予兆として判断し、全ての衛星からの受信状態のモニタリングを開始することで、GPS 端末が屋内・屋外のどちらに存在しているかを判定する。受信状態のモニタリングをするだけでなく、モニタリングを開始する前に屋内外が切り替わる予兆をとらえることで、SNR の揺らぎに対して安定した屋内外判定を実現することができる。実際、4章でモニタリングのみによって屋内外判定を行った場合と屋内外が切り替わる予兆をとらえてからモニタリングを開始する場合との比較評価を行っており、この結果からも SNR の急激な変化をとらえてからモニタリングを開始した場合、より安定した成功率の高い屋内外判定結果が得られることが分かっている。

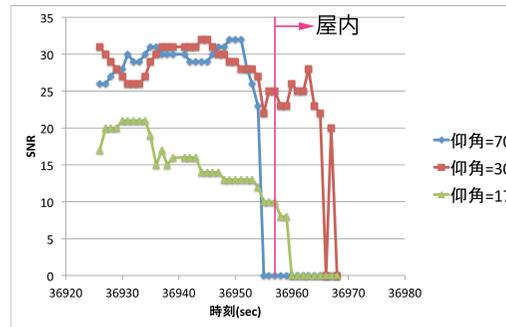


図 3 GPS 衛星の SNR 変化
Fig. 3 Change of SNR in Trace

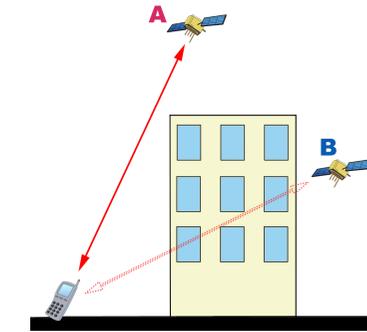


図 4 GPS 衛星の仰角による LOS/NLOS 比較
Fig. 4 LOS/NLOS for Different Elevation of GPS Satellites

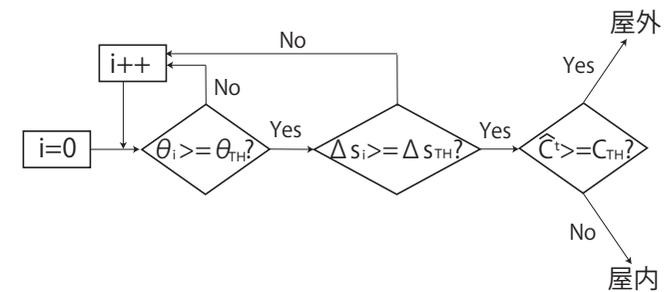


図 5 屋内外判定法のフローチャート
Fig. 5 Flowchart of Proposed Method

3. 屋内外判定法

3.1 概要

2.2 節で述べたように、仰角の高い GPS 衛星の SNR は建物の入り口付近に近づいた際に大きく変化すると考えられる。そこで提案手法では、まず屋内外の切り替わりが起る予兆をとらえるため、仰角の高い GPS 衛星の SNR 変化量を確認する。しかし、2.2 節で前述したように屋内外の切り替わりの予兆をとらえるだけでは実際に屋内外の切り替わりが発

生じたか否かを判定することは難しい。そこで平均 SNR および信号を受信できた衛星数に対して閾値を設定し、一定期間 SNR の値や衛星数を監視して屋内・屋外のどちらに存在するかを推定する。平均 SNR と衛星数のみで屋内外判定をすることも考えられるが、適切に変化を反映できない場合がある。例えばビルに囲まれている場合など環境によって屋外でも衛星数は異なる。また、平均 SNR に一部の衛星の SNR の低下があまり反映されない可能性もある。このため提案手法では、前述のように GPS 受信端末で取得可能な情報を総合的に判断することで精度の向上を図っている。

提案手法ではまず判別モデルをあらかじめ構築しておき、構築した判別モデルを使って屋内外判定を行う。判別モデルの構築では、高いビルの存在する都市部やビルの無い住宅街など、様々な環境の屋内・屋外において GPS の受信状態を学習データとしてあらかじめ収集し、事前に判別モデルを構築する。屋内外判定の流れを図 5 に示す。屋内外判定では、まず仰角 θ_{TH} 以上となる GPS 衛星 i について、過去一定期間における SNR 変化量 Δs_i を定期的に計算する。SNR 変化量が閾値 Δs_{TH} 以上の場合は次のステップに進み、GPS 受信状態を総合的に判断する。GPS 受信状態は現在の SNR、信号が受信可能な衛星数、測位の可否の 3 つに基づき数値化される。以降では、時刻 t における GPS 受信状態を数値化したものをスコアと呼び C^t と表記する。

3.2 屋内外の切替判定

屋内外の切替が起こったことを検知するため、仰角 θ が閾値 θ_{TH} 以上の GPS 衛星について、過去一定期間 W の SNR 変化量 Δs_i を算出する。時刻 t における衛星 i からの SNR を s_i^t と表すと、衛星 i の時刻 t における変化量 Δs_i^t は以下で定義される。

$$\Delta s_i^t = |s_i^t - s_i^{t-\Delta t}| \quad (1)$$

Δs_i^t が SNR 変化量閾値 s_{TH} より大きくなった場合、屋内外の切り替わりが起こったと判断し、GPS 受信状態を総合的に考慮した屋内外判定を行う。

3.3 屋内外判定

屋内・屋外どちらに存在するかの判定は、時刻 t における各衛星の GPS 受信状態 s_i^t の平均値、信号を受信した (SNR が 0 より大きい) 衛星数 $|S^t|$ 、測位の可否を表すバイナリ変数 m^t ($m^t = 0$ or 1) によってスコアを数値化することで行う。時刻 t におけるスコア C^t は以下で定義される。

$$C^t = \alpha \cdot \sum_{i=1}^{|S^t|} \frac{s_i^t}{|S^t|} + \beta \cdot |S^t| + \gamma \cdot m^t \quad (2)$$

ここで α, β, γ は 0 以上 1 以下の値であり、それぞれ平均 SNR、衛星数、測位の可否の重みで、

$$\alpha + \beta + \gamma = 1$$

とする。このスコアが高いほど屋外の可能性が高いことを意味する。SNR の変化量が Δs_{TH} を超えた時刻を t とすると、時刻 $[t, t+T]$ のスコアの平均 \hat{C}^t が閾値 C_{TH} 以上かどうかで屋内外の判定を行う。平均スコアが閾値 C_{TH} 以上の場合は屋外、閾値未満の場合は屋内と判定する。

3.4 判別モデルの構築

判別モデルの構築では、与えられた学習データを最もよく表すように各パラメータ設定を行う。判別モデルで設定すべきパラメータは仰角閾値 θ_{TH} 、SNR 変化量閾値 Δs_{TH} とそのウィンドウサイズ W 、スコア算出重み付けパラメータ α, β, γ 、屋内外判定スコアの閾値 C_{TH} 、スコアウィンドウサイズ T の 8 個である。機械学習によりこれらのパラメータを決定することも考えられるが、本研究ではそれぞれの要因の影響を調べるため、前述のように簡潔な判別モデルを定義し、観測に基づきパラメータを設定してモデルを構築する。

まず、仰角閾値では仰角の低い衛星を除外できれば良いため、各時刻 t での平均仰角を閾値とする。すなわち、

$$\theta_{TH}^t = \sum_{i=1}^{|S^t|} \frac{\theta_i^t}{|S^t|}$$

である。次に、SNR の変化量閾値 Δs_{TH} を決定する。変化量の算出にはウィンドウサイズ W を与える必要があり、閾値 Δs_{TH} は SNR の揺らぎ量と屋内外の切り替わり時の SNR の変化量を判別できる値に定めれば良い。そこでウィンドウサイズ W を仮定した時に、学習データの SNR の揺らぎ量の平均値と屋内外の切り替わり時の SNR の変化量の平均値をそれぞれ求め、それらの中央値を閾値 Δs_{TH} とする。ただし、迅速に屋内外判定を開始するため、 W は短い方が望ましい。

続いて、スコア算出重み付けパラメータ α, β, γ を決定する。屋外から屋内に移動した時の平均 SNR、衛星数、測位の可否の時間変化の平均値を示したグラフを図 6 に示す。これらの結果より、屋内外が切り替わった時には平均 SNR が最も顕著な変化を見せ、2 番目に衛星数の変化が大きく、測位の可否はあまり大きな変化がないことが分かる。このことから、それぞれの平均値を算出し、屋内外切り替え時の変化が大きいくほどスコアへの影響度が大きくなるように設定された重みの組み合わせのうち、最もよく屋内・屋外のデータを

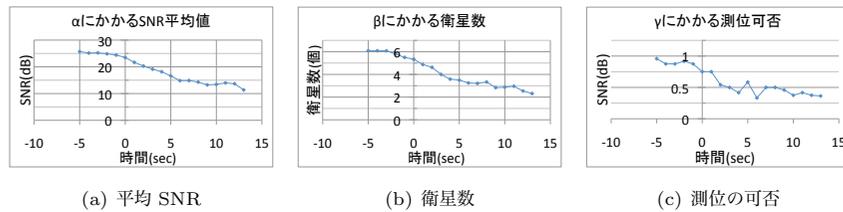


図6 平均 SNR, 衛星数, 測位の可否の屋内外切り替えによる変化

Fig. 6 Difference between Indoor and Outdoor for Avg. SNR, Satellite Numbers, and Localization Success

スコアにより分類できる組み合わせを α, β, γ として採用する. スコア閾値 C_{TH} は α, β, γ のパラメータを変化させたときに最も良く屋内・屋外を分割できる値を設定する. 最後に, 屋内外判定のスコア計算を行うウィンドウサイズ T は, 学習データに対して最も良い精度となるように定める.

4. 性能評価

4.1 評価環境

性能評価には SAMSUNG 社製 NEXUS S(Android バージョン 2.3.6) を 10 台用いて行った. 端末を 1 人 1 つ持ち, 計 10 人で屋内外を出入りする際の GPS ログを 3 日間取得した. その結果データは計 52 個得られた. 判別モデルの構築は, 一つ目の実験では得られた全てのデータを学習データとして用いた. 屋内外判定の精度を確認するためのテストデータは, 全 52 データのうち, 屋外が 5 秒, 屋内が 15 秒以上含まれる 38 個のデータを用いた. また, 二つ目の実験では全データのうち中層ビルでのデータを学習データとして使用し, 残りをテストデータとして利用した. これらの実験で学習データから構築した判別モデルにおけるパラメータのデフォルト設定を表 3 に示す.

性能評価では, 全データを学習データとして使った場合において判別モデルにおけるパラメータのうち, SNR 変化量の閾値, SNR 変化量のウィンドウサイズ, スコア計算のウィンドウサイズについて, 値を変えて屋内外判別精度への影響を確認した. また, SNR 変化量を判定に用いる効果を確認するため, スコアのみを用いて判定を行った場合との比較も行った. 続いて, 全てのデータおよび中層ビルでのデータを学習データとして用いた場合それぞれについて, 都市部や駅, 住宅地など様々な場所における屋内外判定の成功率を確認した.

表 3 パラメータのデフォルト設定
Table 3 Default Parameter Settings

パラメータ	デフォルト値 (全データ学習)	デフォルト値 (中層ビルデータ学習)
仰角閾値 (θ_{TH}^t)	時刻 t の平均仰角	時刻 t の平均仰角
SNR 変化量閾値 (Δs_{TH})	15	13
SNR 変化量のウィンドウサイズ (W)	3 sec.	3 sec.
スコア計算のウィンドウサイズ (T)	3 sec.	3 sec.
屋内外判定スコア閾値 (C_{TH})	50	60
スコア算出重み付けパラメータ (α, β, γ)	(0.15, 0.15, 0.7)	(0.15, 0.15, 0.7)

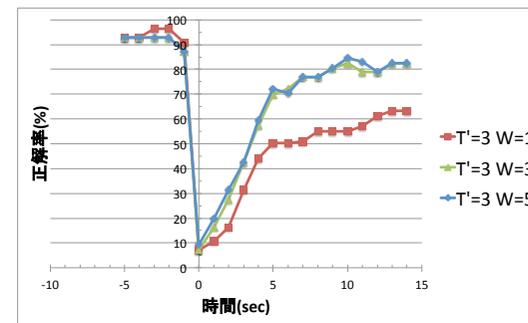


図7 SNR 変化量ウィンドウサイズ W に対する精度
Fig. 7 Accuracy for SNR Difference Window Size W

4.2 判別モデルパラメータの影響

4.2.1 SNR 変化量ウィンドウサイズ W の影響

W を変化させたときの判定精度に与える影響を評価するため, SNR 変化量閾値 Δs_{TH} を 15 に固定して, 変化量ウィンドウサイズ W を 1 から 5 まで変化させ, 判定成功率を比較した. 図 7 に結果を示す. グラフにおいて時刻 0 は屋内外切替時刻を表しており, 時刻 0 より左が屋外, 右が屋内である.

W が 1 の場合は屋内外が切り替わって 10 秒以上経過しても精度は約 60%程度までしか向上しない. この誤差の理由は, 1 秒では SNR が閾値以上変化することが少ないためである. 例えば屋外から屋内へ移動した際, 仰角の高い衛星の SNR は 1 秒程度で急激に低下する場合もあるが, 建物の形状などによっては数秒かけて段階的に変化が起こる場合がある. ウィンドウサイズが小さすぎるとその連続した SNR 低下の変化をとらえられず, 電波の揺らぎと同程度の変化として処理されてしまう. 一方, W が 3 秒, 5 秒の場合は約 10 秒で

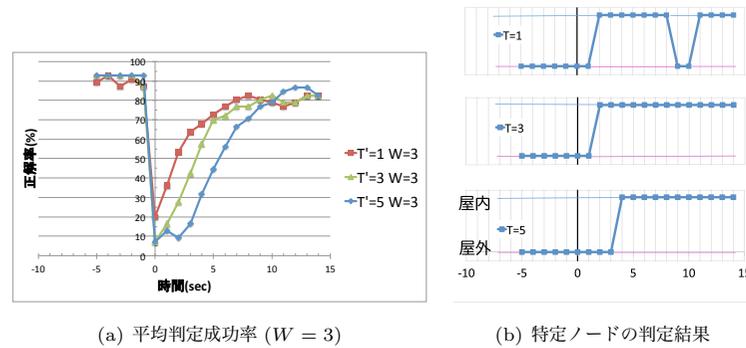


図 8 スコアウィンドウサイズ T の影響
Fig. 8 Effect of Score Window Size T

80%以上の成功率であることが分かった。 W を大きくすることにより、ほとんどの場合において屋内外の切り替えにより発生した SNR の変化をとらえることができ、精度が向上したと考えられる。この結果から、変化量ウィンドウサイズ W は 3 秒に設定することが妥当である。

4.2.2 スコアウィンドウサイズ T の影響

屋内外判定時に平均スコアの計算対象とするウィンドウサイズ T が変わることによって精度にどのような影響があるかを調べた。このため、 T を 1, 3, 5 と変化させたときの精度を調べた。図 8(a) は SNR 変化量のウィンドウサイズを $W = 3$ に設定した場合の屋内外判定精度を示している。

結果より T が大きいほど精度の収束速度が遅くなること分かる。この理由は、屋内外判定のためのスコア計算に T 秒間かかるためである。逆に T が小さい場合には平均正解率としての収束が早くなるが、短期間の GPS 受信状況を使って頻繁に判定を行うため判定結果が安定しない場合が起こる。図 8(b) はあるノードの判定結果を表している。この結果を見ると、 $T = 1$ の場合は屋内と一旦は正しく判定された後、すぐ屋外と誤判定されている。一方、 $T = 3$ および 5 の場合は $T = 1$ の場合よりも最初の判定はやや遅れるものの、その後の判定結果は正しいまま変わらず安定している。以上のことからこの場合適切なスコアウィンドウサイズは $T = 3$ であることが分かる。

4.3 SNR 変化量の影響

図 9, 図 10 はそれぞれ高仰角の衛星の変化量を利用して判定を行った場合と、常にスコ

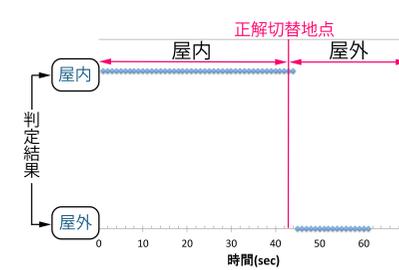


図 9 高仰角の衛星の SNR 変化量を利用した判定成功率
Fig. 9 Accuracy Using SNR Difference of High Elevation Satellites

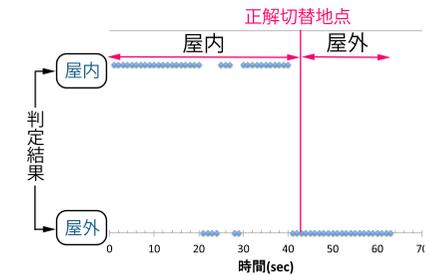


図 10 スコアのみで判定を行った場合
Fig. 10 Accuracy by Score Only

アのみを使って判定した場合の結果である。図 10 では、屋内の場合でも GPS 衛星の電波を受信し、それを用いて判定を行っているため、判定結果が不安定になっている場合がある。一方、図 9 は高仰角の衛星の SNR 変化量が大きくなるまでスコアによる屋内外判定を行わない。したがって SNR 変化量を判定に利用することで、屋内外の切り替えと比べて小さな GPS 受信状況の揺らぎに対して強くなり、安定した判定結果を得られていることが分かる。

4.4 環境の違いによる精度の変化

表 3 に示す判別モデルのパラメータは表 4 に示す様々な環境の学習データを用いて決定したものである。しかし、環境によって衛星の見え方、SNR の特徴が異なるため、各環境でパラメータを調整することで精度は向上すると考えられる。

図 11, 12 は、駅および一軒家での判定成功率を表している。駅、一軒家でのスコア閾値 C_{TH} をそれぞれ 72, 50 に設定した所、どちらも 7 秒で 90%を超える成功率が得られた。一般的に駅は天井が高く水平方向に壁が無い場合が多いため、反射や回折により壁がある場合と比べて GPS の電波を受信しやすくなり、一軒家と比較した際に SNR の値は高くなる。このため、駅に入った場合のスコアも高い傾向にあり、閾値を高く設定することにより精度が良くなると考えられる。

4.5 学習データの違いによる影響

これまでの評価では、全てのデータを学習データとして判別モデルのパラメータを設定し、学習データとして用いた一部のデータに対して判定成功率を評価した。学習データとテストデータが異なる場合に判定成功率がどのような影響を受けるかを調べるため、全データのうち中層ビルのデータを学習データとして判別モデルを構築し、残りの半分をテスト

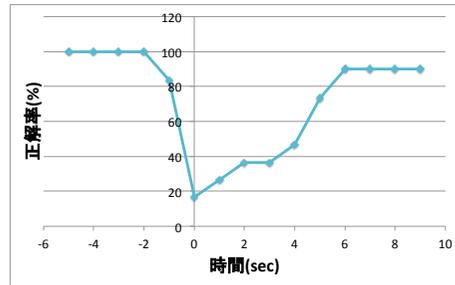


図 11 駅での判別成功率
Fig.11 Accuracy in stations

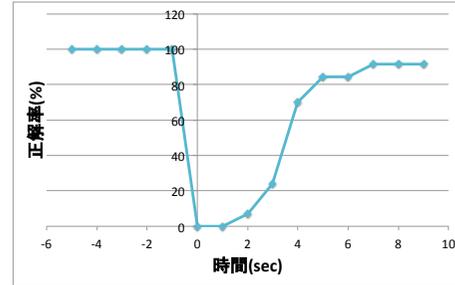


図 12 一軒家での判別成功率
Fig.12 Accuracy in houses

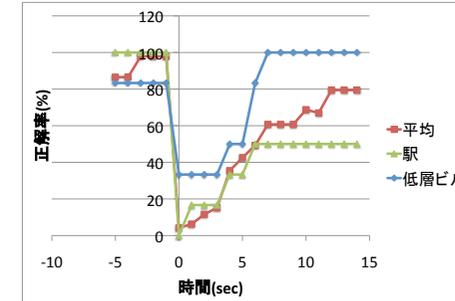


図 13 中層ビル学習データによる判定モデルの精度
Fig.13 Accuracy of Discriminant Function by Learning Data from Building Area

表 4 実験場所
Table 4 Experiment Places

Place	
低層ビル	4F 以下のビル
中層ビル	5F 以上のビル
体育館	大学内の体育館
マーケット	スーパーやコンビニ
アーケード	商店街
駅	5 箇所の駅
地下街	梅田地下街
家	一戸建の家
モール	大型ショッピングモール

データとして評価を行った。図 13 に評価結果を示す。学習データとテストデータが異なる場合は、同じ場合と比較して平均精度の収束速度が遅くなる。この結果より、テストデータに偏りがあると判別モデルのパラメータも特定の環境に偏ったものとなり、これを用いて他の環境を評価すると判別精度が落ちることがわかった。一方、駅や低層ビルなど特定の環境での判定精度は大きく異なり、大幅に向上している。テストデータとして用いた中層ビルと SNR の変化の傾向が似ている低層ビルなどの環境では精度が向上し、逆に天井の高さや建物の構造が大きく異なる駅では精度の低下が見られる。以上の結果より、各環境における適切なパラメータを設定することが重要であることが分かる。

5. まとめ

本研究ではインフラに依存せず GPS 端末のみを用いて、GPS 端末が屋内・屋外のいず

れに存在するかをリアルタイムに判定するための手法を提案した。提案手法では様々な環境で収集した GPS の受信状況を学習データとして用いて事前に判別モデルを構築する。判別モデルの構築は、屋内外で GPS 衛星の SNR 値、信号を受信可能な衛星数、測位の可否状況が変化する特性を基に GPS 受信状況を数値化することで行う。Android 端末を用いた実機実験を行った結果、屋内外の切り替わりから 10 秒以内に正解率 82% に達し、場所ごとに学習データを用意し、場所ごとに判別モデルを構築した場合は、7 秒以内に 90% 以上の精度を達成できることが分かった。

今後の課題として、場所が変化する場合の精度を向上させることが挙げられる。このため、あらゆる場所でも同一の判別モデルで高精度に判定するための方法、あるいは GPS の位置情報を利用して住宅地や都市部など、周辺環境を推定して判別モデルのパラメータを動的に変更する方法を検討する。また、多様な環境での性能評価を行うこと、環境に応じて判別モデルのパラメータを動的に変更する方式の考案、および屋内外判定結果を用いたアプリケーションを構築し、有効性を評価することも検討している。

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) H.Blunck, Kjærgaard, M.B. and Toftkjær, T.: Sensing and Classifying Impairments of GPS Reception on Mobile Devices, *In Proc. of Int. Conf. on Pervasive Computing*, pp.350-367 (2011).

- 3) H.Blunck, Kjærgaard, M.B., Toftkjær, T., Christensen, D.L. and Grønbæk, K.: Empirical Analysis and Characterization of Indoor GPS Signal Fading and Multipath Conditions, *In Proc. of Int. Tech. Meeting Satellite Division Inst. of Navigation (ION GNSS)*, pp.2362–2371 (2009).
- 4) 岡峰正, 國頭吾郎, 高橋竜男, 田中聡: GPS 携帯電話による訪問場所抽出のための屋内外判定方法, 電子情報通信学会大会講演論文集, p.274 (2006).
- 5) Kouroggi, M., Sakata, N., Okuma, T. and Kurata, T.: Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/RFID/Self-contained Sensor System, *In Proc. of Int. Conf. on Artificial Reality and Telexistence*, pp.1310–1321 (2006).
- 6) Agarwal, A. and Das, S.R.: Dead Reckoning in Mobile Ad Hoc Networks, *In Proc. of Wireless Communications and Networking*, pp.1838–1843 (2003).
- 7) Djuknic, G.M. and Richton, R.E.: Geolocation and Assisted GPS, *IEEE Computer*, Vol.2, No.2, pp.123–125 (2001).
- 8) 小白井良一: わかりやすい GPS 測量, オーム社 (2010).
- 9) Kjærgaard, M.B., Blunck, H., Godsk, T., Toftkjær, T., Christensen, D.L. and Grønbæk, K.: Indoor Positioning Using GPS Revisited, *In Proc. of Int. Conf. on Pervasive Computing*, pp.38–56 (2010).