

新しい出欠管理システムに向けた提案

米川 雅士

奈良産業大学情報学部

概 要

文部科学省による大学設置基準と通達により、授業時間についての厳格化が求められるようになった。これにより授業への参加が殆どの大学で義務化されている。しかし、出欠確認には時間がかかるためシステムを利用する動きが加速する中、様々な問題も生まれてきている。そこで著者は問題の 1 つである友人の変わり出席申請をする代返についての予防策として測位技術を利用した出欠管理システムについて提案する。

1. はじめに

大学全入時代を 2007 年に控え、学士力維持について議論が活発になってき始めた中で、大学の講義出席時における学習効果について議論がされ始めた。そのような中 2007 年に大学設置基準の改定があり、その改定と共に発せられた通達によって授業回数の 3 分の 2 以上に出席した学生にのみ単位取得資格を与えるようになった。そのため学生の確実な出欠確認が重要となってきた。しかし、出欠を確実に取ろうと考えた場合、大変な労力と講義時間への影響が考えられる。出欠確認は名前を呼ぶ方法で実施した場合、3 秒/人とする 100 人の点呼が終わるのは 5 分後となる。出欠カードにしても印刷の手間、配布の手間、集計の手間がかかる。そこで、各大学は学生の講義への出欠管理とともに大学内の業務効率化を図るために IT 化を進める動きが活発になってきた。

このような時代の中、最も早く出欠管理システムを導入したとされるのが、2005 年から運用をスタートさせた青森大学の「i-MAS」と札幌大学の「WB-1R/W」である。「i-MAS」のシステムは携帯電話を利用した出欠管理システムで、出席を登録する際には教員が支持した番号が必要となるシステムである。また「WB-1R/W」は非接触 IC カードで教室にある端末にこのカードを翳して出欠をとるシステムである。その後、様々な出欠管理システムが登場したが全てが携帯電話利用型か、非接触 IC カード利用型に大別される。著者が勤める奈良産業大学においても 2011 年より非接触 IC カードを利用した出欠管理システムを導入している。

これらシステムは運用が開始されてから数年が経ち、問題点も報告されるようになってきた。問題点とは読み取り端末への接触方法が悪く、システムに欠席扱いとされる。友達に IC カードを渡し、出席扱いにする代返行為などが多く見られ、教員の中には出欠管理システムは確認用としてしか利用しない教員も出始めている。この代返問題に対しては株式会社アルファメディアなどにより代返防止機能として、座席に IC タグを設置し学生が所持している IC カードと紐付けすることで同一座席からの連続出席申請を防ぐシステムも開発されている。しかし、この方法も学生がいない席の IC タグを利用しないとは言えず、また初期投資へ

の金額も馬鹿にできない。

そこで著者は総務省が 2005 年に発した日本版 e911 の省令により、携帯電話やスマートフォンに位置情報を取得できる GPS が基本的に全機種に搭載されていることから、この位置情報を利用した携帯電話利用型の出欠管理システムを提案する。今回提案するシステムは先に上げた株式会社アルファメディアが発売している非接触型 IC カード利用型の代返防止機能の携帯電話利用型版となる。

しかし、GPS (Global Positioning System) は自分の位置を計算するのに 4 機以上の衛星を同時に受信することが必要であり、教室など室内での利用は困難だと考えられているが、著者はこの点についても最新の位置情報取得技術と併用で利用することにより、最適な携帯電話利用型の出欠管理システムを提案する。

2. 現在の位置情報取得技術

15 世紀中期頃から始まった大航海時代において航海術は飛躍的に進歩した。航海術の進歩により人々は目印のない海の上でも迷うことなく目的地に到着することができるようになった。しかし、航海術には専門的な知識が必要となるため航海士という職種が重要視されていた。しかし、現代ではこの航海士がいなくても自分の位置を簡単に誰でも把握できる技術が確立されている。1973 年にアメリカで衛星を利用して自分の位置を求める航法技術の研究を始め、1993 年に一般利用者へ測位技術の無料開放を宣言した。この衛星を利用した測位技術が殆どの方が 1 度は名前を聞いたことがある GPS である。日本では、この衛星を利用して自分の位置を求める測位技術が殆どの携帯電話・車などに搭載されている。また、GPS の出現により位置情報の重要性が増し、室内での位置情報検出技術が近年急速に研究されている。本章では一般的な衛星を利用した測位原理を説明し、日本において携帯電話で利用されている測位技術、最後に研究が進められている位置情報検出技術について記述する。

2. 1 衛星を使った一般的な測位原理

衛星は地球の周りをケプラーの法則で周回している。宇宙には上下左右に基準がないので衛星の位置を表現する際は図 1 で示すように子午線方向を x 軸+方向に、太平洋方向に 90° 回転させた方向を y 軸+方向に、北極方向を z 軸+方向にとり、x-y 平面を赤道面上にくるように定義する。

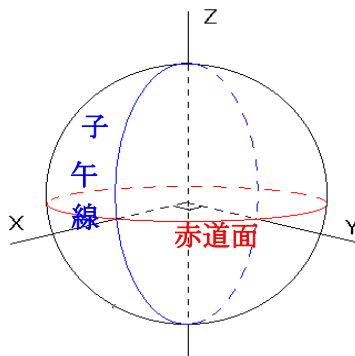


図 1 座標定義

次に自分の位置を求める方法として必要な情報は、衛星の位置と衛星から受信機までの距離である。これらの情報から求めたい自分の位置を求める。各値を図 2 に示すように定義する。

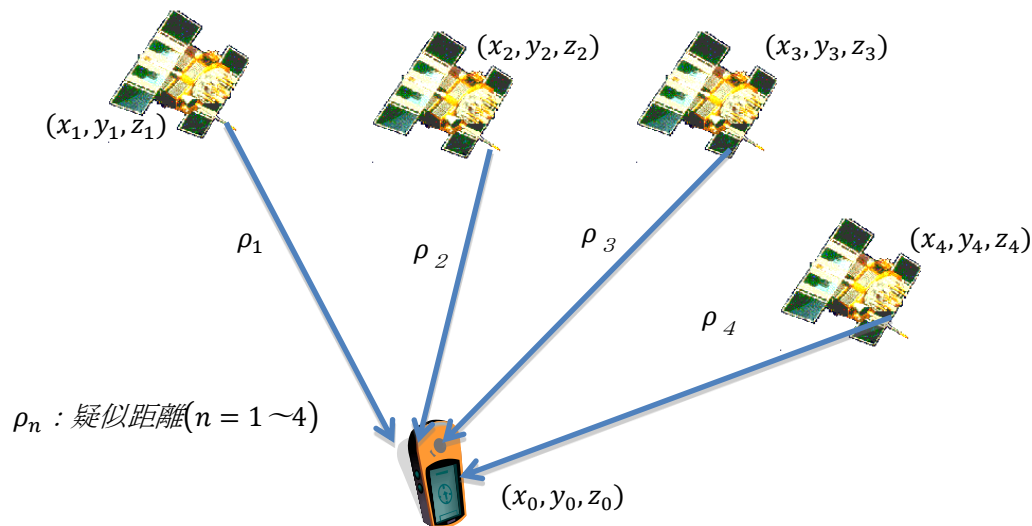


図 2 一般的な測位をおこなうときの定義

衛星から送信される情報には衛星のエフェメリス（軌道情報）、情報の送信時刻、補正值が含まれ、自分の位置を求めるために必要な衛星位置はエフェメリスから、衛星から受信機の距離は伝送路時間に光速を掛けて求める事が出来る。

最も基本的な推定アルゴリズムは、入力値としては衛星 i の位置 (x_i, y_i, z_i) と衛星 i から受信機までの擬似距離 r_i である。擬似距離は衛星 i から受信機までの伝送路時間と光速の積で求めることができる。しかし、衛星 i と受信機の時計が完全な同期をとることができないため、この時計誤差を s とする。求める受信機の位置を (x, y, z) とすると受信機の位置と衛星 i との距離はピタゴラスの定理により

$$r_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + s \cdots (1)$$

式 (1) で未知数は受信機位置 (x, y, z) と擬似距離の誤差 s の 4 つとなる。すなわち、同一時刻に 4 つの衛星から同時に受信する事で未知数を求める事が出来る。しかし、式(1)は非線形のため未知数を近似値と補正值との和で表し、その補正值について式を展開する。さらに、補正值は微小であると仮定し、二次以上の高次元を無視して式を線形化する。受信機座標の近似値 (x', y', z') と定義し、それぞれの補正值を $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ とすると

$$\begin{cases} x = x' + \Delta x \\ y = y' + \Delta y \cdots (2) \\ z = z' + \Delta z \end{cases}$$

式(1)を (x', y', z') の回りでテーラー展開すると

$$r = r' + \frac{\partial r}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial r}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial r}{\partial z} \Delta z + s \cdot \cdot \cdot (3)$$

となり,

ここで衛星 1 について考えると r'_1 は受信機から衛星 1 までの距離の近似値であり

$$\begin{aligned} \frac{\partial r_1}{\partial x} &= \frac{-(x_1 - x')}{\sqrt{(x_1 - x')^2 + (y_1 - y')^2 + (z_1 - z')^2}} \\ \frac{\partial r_1}{\partial y} &= \frac{-(y_1 - y')}{\sqrt{(x_1 - x')^2 + (y_1 - y')^2 + (z_1 - z')^2}} \cdot \cdot \cdot (4) \\ \frac{\partial r_1}{\partial z} &= \frac{-(z_1 - z')}{\sqrt{(x_1 - x')^2 + (y_1 - y')^2 + (z_1 - z')^2}} \end{aligned}$$

で表すことができる．ここで、 $l_1 = \partial r_1 / \partial x$ 、 $m_1 = \partial r_1 / \partial y$ 、 $n_1 = \partial r_1 / \partial z$ とおく、これは方向余弦になっている．また、擬似距離の補正值 $\Delta r_1 = r_1 - r'_1$ は

$$\Delta r_1 = l_1 \Delta x + m_1 \Delta y + n_1 \Delta z + s \cdot \cdot \cdot (5)$$

となる．これを 4 衛星分の方程式を使い行列で表すと

$$\begin{bmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta r_2 \\ \vdots \\ \Delta r_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & n_1 & 1 \\ l_2 & m_2 & n_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_N & m_N & n_N & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ s \end{bmatrix} \cdot \cdot \cdot (6)$$

となる．ここで,

$$\delta R = \begin{bmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta r_2 \\ \vdots \\ \Delta r_N \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & n_1 & 1 \\ l_2 & m_2 & n_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_N & m_N & n_N & 1 \end{bmatrix}, \quad \delta X = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ s \end{bmatrix}$$

とおくと、式 (6) は

$$\delta R = A \delta X \cdot \cdot \cdot (7)$$

と表すことができる．

したがって、受信機の位置を真の位置へ補正する値 δX を求めればよい．

$$\delta X = A^{-1} \delta R \cdot \cdot \cdot (8)$$

よって、受信機位置の近似値に適当な値を入れて計算すれば、真の受信機の位置を求められる。これが一般的な測位のアルゴリズムである。

2. 2 携帯電話を利用した測位原理

一般的な衛星を利用した測位では前記したとおり最低でも 4 機の衛星を同時に受信し続ける必要がある。よって、教室など空があまり見えない場所において測位を実施しても 4 機以上の衛星を確保することは難しい。また、一般的に商店街と呼ばれる街中であっても 4 機以上の衛星を同時に確保出来る割合は受信した時間全体の 60.4% しかない。一般的な商店街で受信実験を行った時の衛星数変動図を図 3 に記述する。

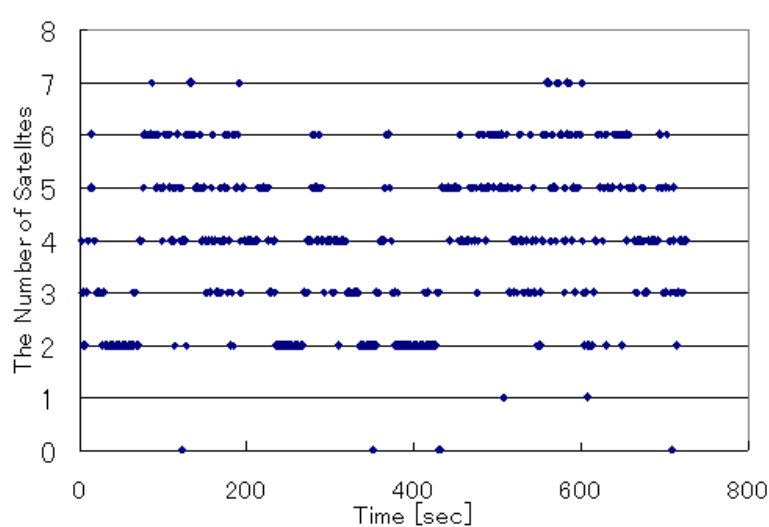


図 3 一般的な街中での衛星数変動一覧

図 3 を見て分かる通り、測位に必要な衛星数が確保できていない時間が多いことがわかると思う。しかし、本提案システムでは学生が利用する端末として携帯電話・スマートフォンを想定している。これら携帯電話・スマートフォンはこのように衛星確保が難しい街中での測位を想定しているため、一般的な測位方法での測位をあまり利用せず、独自の測位技術を確立させている。

携帯電話・スマートフォンの測位方式には 4 段階あり、状況に応じてその 4 段階の測位方法を使い分けている。以下にその 4 段階の測位方式を記述する。

(1) GPS Fix

測位に必要な衛星数を確保でき、一般的な測位方法と同じアルゴリズムで測位が実現できる。この方式は携帯電話を利用した測位方式の中で一番測位誤差が小さく測位することが可能である。測位イメージを図 4 に記述する。

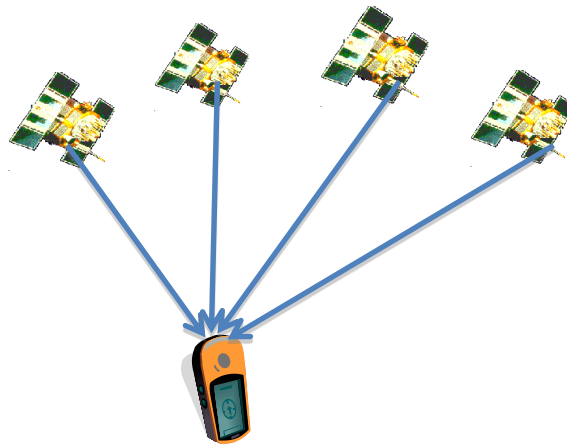


図 4 GPS Fix の測位データ取得イメージ

(2) Hybrid Fix

測位衛星の確保が 1～3 機の時に携帯電話の移動体通信基地局を仮想衛星とみなし、一般的な測位方法と同じアルゴリズムで測位を実現する。受信している測位衛星が 1 機の場合は移動体通信基地局を 3 箇所、測位衛星が 2 機の場合は移動体通信基地局を 2 箇所となる。ただし、Hybrid Fix で測位を行った場合は 2 つの新しい問題が発生する。測位イメージを図 5 に記述する。

- ・ 測位誤差が大きくなる
- ・ 測位衛星と移動体通信基地局の間で高精度な時刻同期が必要になる。

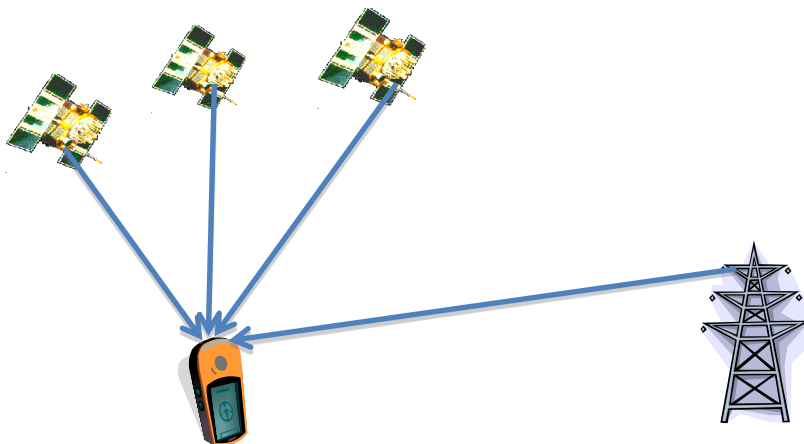


図 5 Hybrid Fix の測位データ取得イメージ

(3) Advanced Forward Trilateration Fix

測位衛星の確保が全くできないときに携帯電話の移動体通信基地局を仮想衛星とみなし、一般的なアルゴリズムで測位を実現する。

測位精度は大変悪く数十 m の測位誤差になる。また、移動体通信基地局の時刻同期も 10^{-10} の精度で合わせる必要がある。

測位イメージを図 6 に記述する。

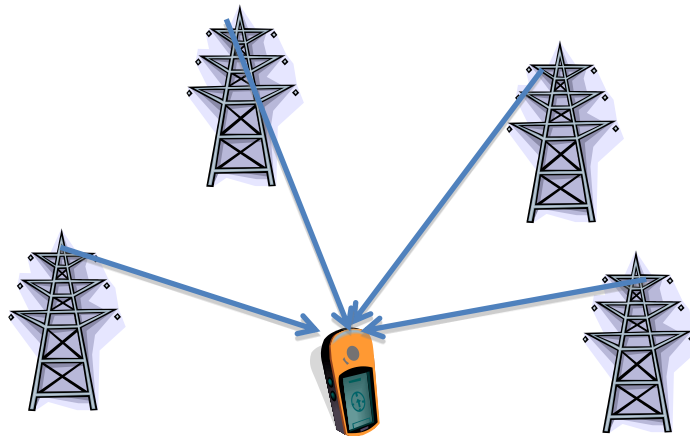


図 6 Advanced Forward Trilateration Fix の
測位データ取得イメージ

(4) Cell Sector Center Fix

測位衛星も受信できず、携帯電話の移動体通信基地局を複数局確保するのが困難な場合に用いられる方式で、一般的な測位方法とは違い、移動体通信基地局が測位し、通常回線電波を利用して移動体通信基地局から携帯電話までの距離を測定し、移動体通信基地局で位置情報を補正してから携帯電話に送信する方式である。この方式では測位誤差が 100m を超えることがしばしば起きている。測位イメージを図 7 に記述す

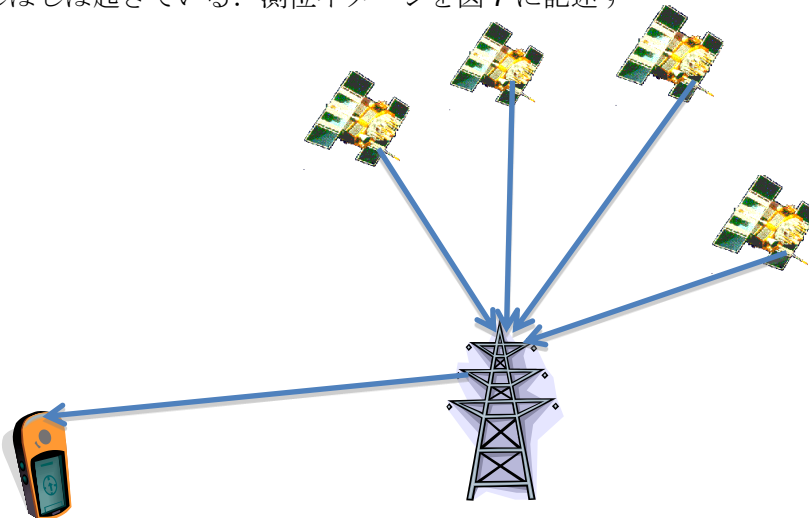


図 7 CellSector Center Fix の測位データ取得イメージ

2. 2 携帯端末を利用した測位原理

GPSが一般利用を許されてから位置情報の重要性が再認識されたため、様々な位置情報検出技術が提案されてきている。前節で記述した携帯電話・スマートフォンのように地上局と通信を常時行ない問題解決する技術、また、ノートパソコンやスマートフォンが普及したことにより、Wi-Fiで利用が広がった無線通信を利用した位置情報検出技術など、様々な位置情報検出技術が開発・研究されている。近年スマートフォンの普及が急速に進み、インプレスR&Dの調査によれば2012年10月時点で39.8%の人がスマートフォンを利用しており、今後も携帯電話ではなくスマートフォンの利用者は増え続けるだろうと予測されている。この無線技術を利用した位置情報検出技術には大きく大別すると“レンジベース方式”と“レンジフリー方式”があり、両方式とも屋内で利用することを想定されている。

(1) レンジベース方式

各ノード間の距離や、受信信号の到来方向を測定結果から求め、それに基づき検出対象であるターゲットの位置を測定する手法であり、初期投資や各装置の管理からコストが嵩むが高精度で位置を検出することが出来る。

本方式には、到来時刻（TOA : Time of Arrival）、到来時刻差（TDOA : Time Difference of Arrival）、受信信号強度（RSS : Received Signal Strength）に基づき各ノードとターゲットまでの距離を推定しそれに基づき位置を推定する手法と、到来方向（AOA : Angle of Arrival）に基づきターゲットの位置を推定する手法に大別される。各測位技術を図8、9に書く方式の精度と複雑度を表1に記述する。

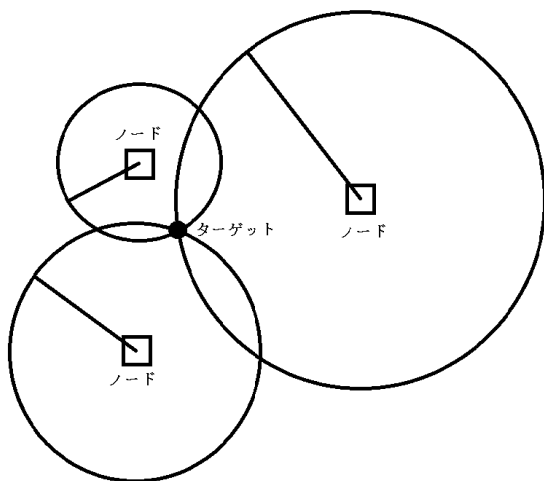


図8 TOA・TDOA・RSSを利用した測位技術

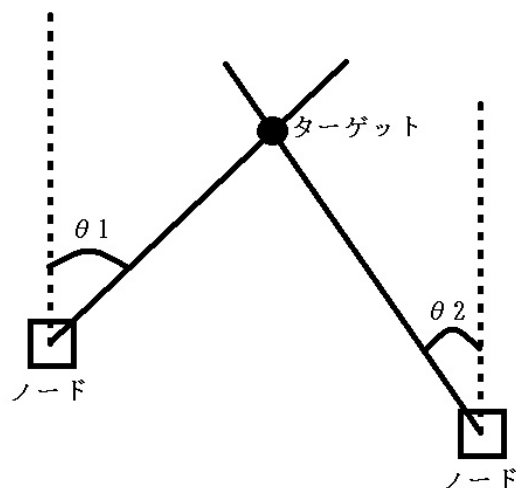


図9 AOAを利用した測位技術

表1 各方式における測位精度と複雑度

方式	測位精度と複雑度
TOA・TDOA	中
RSS	低
AOA	高

・ TOA, TODA : ターゲットから発せられた信号である音波や電波が, ターゲットと各ノードの距離に応じて異なる時刻に到来することを利用した測位技術である. 本方式は平面による測位のため最低3個のノードを用いる必要があり, ノード間で正確な時刻同期が必要となる. これはGPSを利用した測位技術と同様である.

・ RSS : ターゲットから発せられた信号である音波や電波は, 距離衰退することを利用してターゲットまでの位置を求める測位技術である. 本方式は平面による測位のため最低3個のノードを用いる必要があり, 受信信号強度から距離を算出するため, 利用する環境の距離減衰モデルを取得しておくことが必要となる. 本方式はキャリアセンスなどにも用いられているため, センサネットワークを想定した無線LSI (Large Scale Integration) の多くがRSSを出力する機能を有しており, 追加コストが低減できるという利点もあるが推定精度はあまり良くない. ^{1) 2)}

・ AOA : ターゲットから発せられた信号である音波や電波が, ノードにおいてどの方向から受信されたか測定しターゲットまでの位置を求める測位技術である. 本方式はノードからターゲットまでの方向がわかっているため各ノードの交点を求めれば良いため最低限2個のノードがあれば測位は可能である. しかし, 音波や電波の到来方向を測定するために指向性のマイクやアンテナ, アレーアンテナを用いる必要が有するためコストが嵩むことがある.

(2) レンジフリー方式

センサネットワークのノードは小型かつ低コストであり, 電源供給の制約がある事が多い. そのため, レンジベース方式と比べ注目されている技術分野である. レンジフリー方式は, あらかじめ位置がわかっている一部のノードを用い, それらのノードとの位置関係やホップ数などからターゲットの位置を推定する手法である. 本方式はレンジベース方式より簡易であるものの, 位置測定精度は低くなる.

・ **Centroid** : ノードが自身の位置情報を含んだピーコンを定期的にブロードキャストし、ターゲットは受信したピーコンからノードとの位置関係を知ることが出来る。ターゲットは、複数のノードの重心を自身の位置とする。非常に簡単な手法であるが、正確な位置を推定するためには、多くのノードにより測位エリアをカバーする必要があるため、必要なノード数が多くなるという問題点がある。³⁾

・ **DV-HOP** : ノードからのホップ数と1ホップの平均距離からターゲットとノード間の距離を推定し、その距離に基づき位置を推定する方法である。まずノードは、自身の位置情報をホップカウント数（はじめは1に正規化）が含まれたパケットをネットワーク内にフラッディングする。ターゲットは、最も近いノードから1ホップの平均距離を受信し、それと自身が持っているホップ数から距離を計算し、多角測量から自身の位置を推定する。本手法も非常に簡単ではあるが、ノード数の増加に連れて、通信量が急激に増加するといった問題点がある。⁴⁾

・ **APIT** : 本手法は**Approximate Point-In-Triangulation Test**の略で、各ノードがそれぞれ自身の位置情報を含んだピーコンを定期的にブロードキャストする。ターゲットは、受信したピーコンから3つのノードの組み合わせで作成可能なすべての三角形を求める。これらの三角形に対し、自身が各三角形の内側にいるのか外側にいるのか**RSS**情報を基に検証し、それに基づき自身の位置を絞り込んでいく、本手法は少ない通信量で**Centroid**より高い位置推定精度を得られるが、ノードで構成される度の三角形の内側にも含まれないノードの位置を決めることは出来ない。また、**RSS**情報とノードからの距離の関係を表す減衰モデルは近似モデルであり、必ずしも正確な値ではないためターゲットの位置を三角形の内側か外側かの判断を謝ることがある。また、三角形の内部か外部かの判断には本手法と別に**PIT**検定もある。⁵⁾

PIT検定とは、ターゲットを全ての方向に移動し、各三角形の3台全てのノードとの距離が離れる方角にある場合、そのターゲットはその三角形の外側にいると判断する。簡単な検定法であるが、各ノードを全ての方向に移動するのは現実的ではない。

3. 提案出欠管理システム

奈良産業大学では2011年より非接触ICカードによる出欠管理システムを導入しているが、様々な問題を抱えている。その中でも最も大きな問題は学生の正確な出欠が取れない事が問題と考える。この問題には以下の3種類がある。

- ・非接触ICカードを通したのに正確に読み込まれていない。
- ・教員が来る前に非接触ICカードで出欠確認が完了できる。
- ・非接触ICカードの貸し借りが手軽である。

これらの問題を踏まえて新しく出欠管理システムを提案する。

著者が提案する出欠管理システムは、教員と学生に大きな手間を取らせることなく学生の出欠を確実に取得する事を主に考える。出欠確認方法として、携帯電話を利用し決められてHPにアクセスし出欠の確認を取る方法を選択する。処理の流れを図10に提案システムにおいて各ユーザが行える操作項目一覧を記述する。

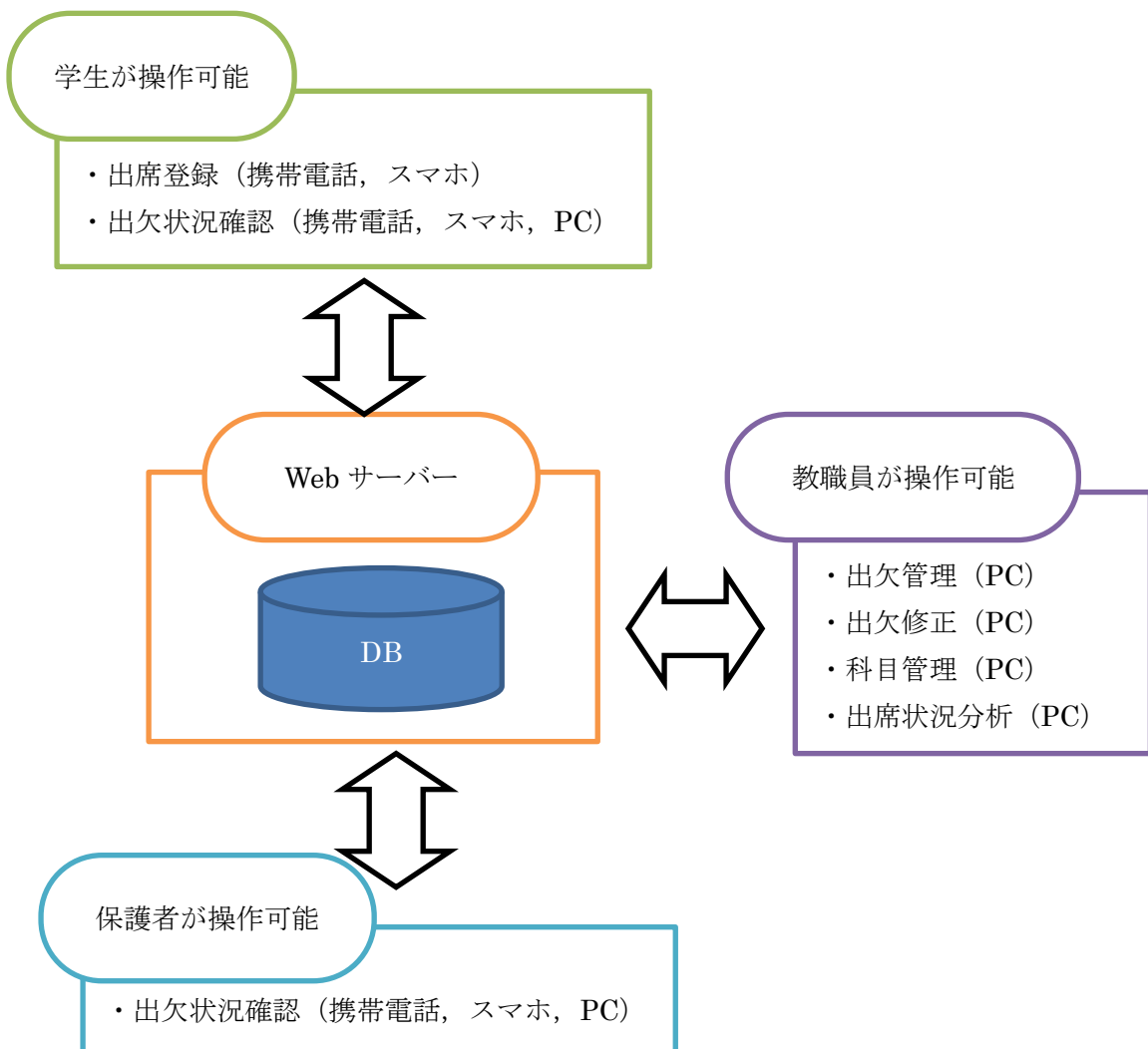


図10 システム操作項目概要一覧

教職員が操作可能項目はPCのブラウザ経由で行う教職員が行う出席管理画面を図11に記述する。回数をクリックすると出席状況を変更できる。

奈良産業大学

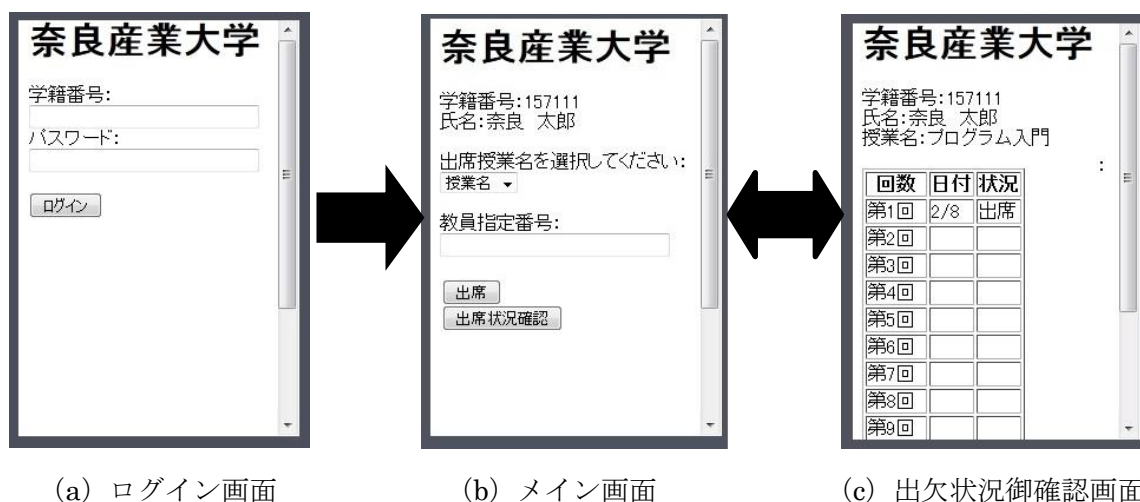
授業名: プログラム入門

学籍番号	学生名	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回
157111	奈良 太郎	出席														
157123	山田 花子	欠席														
157123	山岡 士郎	欠席														
157123	海原 雄山	欠席														
157123	栗田 ゆう子	欠席														

戻る

図 11 出席管理画面

学生が操作可能な画面として、出欠管理システムにアクセスした場合、最初にログイン画面が表示される。学籍番号とパスワードを入力後にログインしメイン画面が表示される。メイン画面では出席登録と出席状況確認が行える。メイン画面で必要情報を入力し出席ボタンを押すと位置情報取得が行われる。教員指定番号は授業中に教員が指定した数字を入力する必要がある。出欠状況確認画面で全授業の出欠状況を簡単に確認することが可能である。



(a) ログイン画面

(b) メイン画面

(c) 出欠状況御確認画面

図 12 学生操作可能画面一覧

保護者が操作可能な画面は、保護対象の学生出欠状況を確認することのみである。出欠状況確認画面を図13に記述する。画面アクセスには学籍番号とパスワードでログインをする必要がある。

奈良産業大学

学籍番号: 157111
氏名: 奈良 太郎

授業名	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回
プログラム入門	出席														
ネットワーク入門															
プロジェクト演習															

戻る

図 13 出欠状況確認画面

4. 教室内での受信状況

提案出欠管理システムが実際に利用可能か奈良産業大学の10号館で実証実験を行った。実証実験を行った教室を図14に記述する。



(a) 1031教室



(b) 1031教室



(c) 1011教室

図14 実証実験を行った教室

この 3 教室を実証実験の場所として選んだ理由として、建物北側にある教室 1031 教室、南側にある教室 1033 教室、空が見えにくい教室 1011 教室として選択した。また、教室内での測位差異についても確認するため、教室の前方右側と左側の席、広報右側と左側の席で 1 教室あたり 4 回測位実験を行った。実証実験に利用した機材を表 2 に記述する。

表 2 実証実験使用機材

機材名	発売元	備考
K006	au	実証実験用携帯電話
Evaluation Kit	ublox	測位衛星状況確認用として利用
VAIO PZ90	SONY	測位衛星状況確認用として利用

測位衛星の受信条件が最も優れている南側にある 1033 教室の通常の携帯電話による測位結果を図示したものを図 15 に記述する。各座席で 5 回ずつ測位を行なっている。



図 15 1033 教室の受信実験結果

図 15 を確認して分かるように各測位結果とも大きく 10 号館から外れていることが分かる。通常の携帯電話で算出された緯度経度では建物の特定は難しいことが分かると思われる。なお、全教室における携帯電話による通常の測位結果を表 3 に記述する。

表 3 携帯による通常の測位結果

教室	場所	受信衛星数	緯度幅 [m]	経度幅 [m]	2drms [m]
1033	右前	9	54.6	100.5	88.8
	左前	9	32.8	104.1	69.4
	右後	9	55.1	111.9	72.4
	左後	9	49.3	110.7	70.2
1031	右前	9	78.8	101.8	86.9
	左前	8	64.5	119.3	94.6
	右後	9	66.4	104.5	90.0
	左後	8	68.9	138.1	88.3
1011	右前	0	102.4	110.3	106.4
	左前	5	60.2	130.5	100.1
	右後	0	134.5	142.2	139.5
	左後	6	64.3	94.6	85.5

図 15 と表 3 から分かるように、通常の携帯電話測位では本システムで有用な情報として利用することは不可能である。

5. 提案アルゴリズム

予算と全学生が携帯端末を持っているという前提が成り立つのならば、先に述べた“携帯端末を利用した測位”を利用して測位を行えば数 m の測位結果を得ることができる。しかし、現在の携帯端末（スマートフォン）の所持率は 39.8% である。学生が若い世代だとしてもスマートフォンを 50% 以上の学生が所持しているとは考えにくい。よって、著者は測位自身の測位精度を上げるために以下のアルゴリズムを提案する。

表 3 より、殆どの教室は衛星数が測位に必要な 4 機以上を確保することができる。ただし、教室なのでマルチパスの影響が大きいと考えるのが妥当である。よって、測位に使う擬似距離には誤差が多く含まれていると仮定し、入力値として測位に使う重みを下げて利用する。最小二乗法で解いている式 (7) の連立方程式を行列を使わずに書くと、以下のようになる。

$$\begin{cases} A_{11}\Delta x + A_{12}\Delta y + A_{13}\Delta z + A_{14}\Delta s = \Delta r_1 \\ A_{21}\Delta x + A_{22}\Delta y + A_{23}\Delta z + A_{24}\Delta s = \Delta r_2 \\ \vdots \\ A_{N1}\Delta x + A_{N2}\Delta y + A_{N3}\Delta z + A_{N4}\Delta s = \Delta r_N \end{cases} \quad \dots (9)$$

最小二乗法では、この連立方程式の両辺の差の二乗和が最小となるように未知数が決められている。

$$e_i = A_{i1}\Delta x + A_{i2}\Delta y + A_{i3}\Delta z + A_{i4}\Delta s + \Delta r_i$$

としたとき、残差二乗和は

$$E' = e_1^2 + e_1^2 + \dots + e_N^2 \cdot \dots \cdot (10)$$

が最小となるように未知数を決めるのである。それぞれの測定値は均等に取り扱われていることになる。

それぞれの測定値の精度はわかっているので、精度の悪い測定値については重視しないこととする。擬似距離 r_i の測定精度が、標準偏差 σ_i で表すと、精度の悪い、つまり σ_i が大きな測定値はそのぶんだけ残差も大きくなる。よって、残差の評価として $1/\sigma_i$ 倍すると、式 (10) は

$$E' = \left(\frac{e_1}{\sigma_1}\right)^2 + \left(\frac{e_2}{\sigma_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{e_N}{\sigma_N}\right)^2 \cdot \dots \cdot (11)$$

標準偏差 σ_i を基準として残差をそろえ、精度の悪い測定値は相対的に評価の重みが小さくなる。この式 (11) を最小とするには、式 (11) の連立方程式の両辺に $1/\sigma_i$ を乗じればよい。

$$\begin{cases} \frac{1}{\sigma_1} A_{11} \Delta x + \frac{1}{\sigma_1} A_{12} \Delta y + \frac{1}{\sigma_1} A_{13} \Delta z + \frac{1}{\sigma_1} A_{14} \Delta s = \frac{1}{\sigma_1} \Delta r_1 \\ \frac{1}{\sigma_2} A_{21} \Delta x + \frac{1}{\sigma_2} A_{22} \Delta y + \frac{1}{\sigma_2} A_{23} \Delta z + \frac{1}{\sigma_2} A_{24} \Delta s = \frac{1}{\sigma_2} \Delta r_2 \\ \vdots \\ \frac{1}{\sigma_N} A_{N1} \Delta x + \frac{1}{\sigma_N} A_{N2} \Delta y + \frac{1}{\sigma_N} A_{N3} \Delta z + \frac{1}{\sigma_N} A_{N4} \Delta s = \frac{1}{\sigma_N} \Delta r_N \end{cases} \cdot \dots \cdot (12)$$

このようにすると、 σ_i が小さな衛星ほど重要視されて未知数が計算される事になる。行列を使って計算するには、次のような重み行列 W を用意する。

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_2 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & w_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2^2 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1/\sigma_N^2 \end{bmatrix} \cdot \dots \cdot (13)$$

この重み行列を利用して方程式に重み付けをして、誤差の期待値が最も小さくなるように解を求めるには

$$\Delta \vec{x} = (G^T W G)^{-1} G^T W \Delta \vec{r} \cdot \dots \cdot (14)$$

式 (14) のように $\Delta \vec{x}$ を定める。このとき式 (11) が最小となり、 σ_i の小さな測位精度のよい疑似距離が重視されて解を求める事ができる。

本手法を用いた測位結果を表 4 に記述する。表 4 に記述してある 2drms は全 5 回測位を行った結果の散らばり具合を表したものである。

表 4 提案アルゴリズムによる測位結果

教室	場所	2drms [m]
1033	右前	30.8
	左前	22.9
	右後	32.1
	左後	24.5
1031	右前	30.5
	左前	31.8
	右後	29.9
	左後	19.5
1011	右前	54.5
	左前	34.4
	右後	60.1
	左後	30.5

本結果より、各建物に基準となる座標を持たせ半径 70m のエリア内に全ての測位結果が入った。このことより、本提案システムは学内であれば初期投資なしで測位結果を組み込んだ出欠管理システムを稼働することが可能である。また、無線 LAN に接続可能端末を全学生が持っていれば、レンジベース方式を実施することが可能となり、より高精度な測位情報を持った出欠管理システムを構築することが可能である。

参考文献

- 1) I. Yamada, T. Ohtsuki, T. Hisanaga and Li Zheng, "An indoor position estimation method by maximum likelihood algorithm using received signal strength," SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, vol. 1, no. 3, pp. 251-256
- 2) N. Kitakoga and T. Ohtsuki, "Distributed EM Algorithms for Acoustic Source Localization in Sensor Networks," IEEE Vehicular Technology Conference, Mon-treal, Canada, Sep, 2006
- 3) N. Bulusu, J. S. Hedemann, D. Estrin, and T. Tran, "Self-configuring localization system: Design and experimental evaluation," ACM trans. Embedded Comput. Syst. Vol. 3, no. 1, pp.24-60
- 4) D. Niculescu and B. Nath, "DV based positioning in ad hoc networks," Telecommunication System, vol. 22, no. 1-4, pp. 267-280
- 5) T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Atankovic, and T. F. Abdelzaher, "Range-free localization schemes in large scale sensor networks," Proc. of ACM/IEEE MOBICOM'03, 2003