

学内無線 LAN アクセスポイントを利用した位置推定における 歩行者の影響について

Effects of Walking People on Position Estimation Employing Access Point in the Campus WLAN system

久保田真一郎[†] 副島 慶人[†] 川村 諒[†] 杉谷 賢一[†] 武藏 泰雄[†]
永井 孝幸[†] 入口 紀男[†] 右田 雅裕[†] 喜多 敏博[†] 松葉 龍一[†]
辻 一隆[†] 島本 勝[†] 木田 健[†] 宇佐川 毅[†] 中野 裕司[†]

Shin-Ichiro KUBOTA[†], Yoshito SOEJIMA[†], Ryo KAWAMURA[†], Kenichi SUGITANI[†],
Yasuo MUSASHI[†], Takayuki NAGAI[†], Norio IRIGUCHI[†], Masahiro MIGITA[†], Toshihiro
KITA[†], Ryuichi MATSUBA[†], Kazutaka TSUJI[†], Masaru SHIMAMOTO[†], Takeshi KIDA[†],
Tsuyoshi USAGAWA[†], Hiroshi NAKANO[†]

†kubota@cc.kumamoto-u.ac.jp

† 熊本大学 総合情報基盤センター

† Center for Multimedia and Information Technologies, Kumamoto Univ.

概要

無線 LAN を用いた位置推定の研究は多く行われており、2.4GHz 帯を用いた位置推定については、無線 LAN に限らず、IEEE802.15.4 規格の無線センサネットワーク機器においても広く研究されている。IEEE802.15.4 規格の無線センサネットワーク機器を用いた研究において、歩行者がある場合に位置推定精度が向上するという研究結果が発表されており、同様の周波数帯で通信を行う無線 LAN で構築された情報インフラ環境であっても同様の結果が起こるか検証を行った。その結果、先行研究を支持する結果とはならず、不可視 AP を位置推定に利用する影響に比べると歩行者の往来が誤差に及ぼす影響は小さいことが確認された。本研究結果は、先行研究を否定するものではなく、学内の無線 LAN インフラを用いた場合の位置推定誤差について知見を与えるものである。

キーワード 無線 LAN, 位置推定, 歩行者

1. はじめに

GPS 端末を利用した位置情報の取得はよく知られているが、端末から GPS 用の衛星への見通しが重要であり、GPS 用衛星への見通しのない屋内において GPS 端末を用いて位置情報を取得することはできない。このような背景のもと、屋内での位置情報を取

得する方法として RFID や無線 LAN などの屋内での電波通信を利用したものや超音波を利用したなど様々な研究が行われ、実用化されている。その中でも機器配備などが安価であり、目的は異なるがすでに情報インフラとして配備されているため、無線 LAN による位置情報の取得技術が注目されている [1]~[3].

位置推定を行うために配備されたアクセスポイント (AP) から受信する受信電波強度 (RSSI) の値を利用し、最尤推定手法を用い位置推定を行う Arias らの研究 [4] は十分精度の良い結果を与えている。

情報インフラとして AP が配備される場合は、混信による通信容量の減少を防ぐために、AP からの電波ができるだけ重ならないように配備される。例えば、情報インフラを目的に無線 LAN が整備された大学などの教室では、接続数や各教室のレイアウトにより、見通しの効く位置に AP が少なくとも 1 つ存在するが、不必要に AP が設置されることはない。しかし、隣接する教室に設置された AP の電波や廊下に設置された AP の電波も間接的に受信される。見通しの効く AP (可視 AP) 1 台からの受信電波強度のみでは、位置推定の精度は良くないが、見通しの効かない AP (不可視 AP) からの RSSI を利用し、できるだけ精度良く位置推定を行うことが可能である [5], [6]。情報インフラとしての AP を利用した位置推定は、不可視 AP を利用し位置推定を行うため、その精度が悪くなるが、その誤差の大きさを知った上で、その誤差をもつ位置情報を利用することは可能である。

位置推定の研究は、同じ 2.4GHz 帯を利用する IEEE802.15.4 規格の無線センサネットワーク機器においても広く研究されている [7]~[9]。IEEE802.15.4 規格の無線センサネットワーク機器を用いた研究において、歩行者が存在する場合に位置推定精度が向上するという研究結果 [8] が発表されている。同様の周波数帯で通信を行う無線 LAN で構築された情報インフラ環境であっても同様の結果が起これると予想されるが、一般に、通常の距離による減衰に加えて、歩行者の存在により無線 LAN の電波強度が弱くなると想像され、位置推定精度が下がると予想される。そこで、本研究では情報インフラとして設置される無線 LAN 環境を使い、歩行者が存在する環境と歩行者が存在しない環境とで位置推定を行い、その誤差について考察を行った。

2. 先行研究

Zemek らの研究 [8] では、IEEE802.15.4 規格の 2.4GHz 帯を利用する機器を用い、各ノードは 1.79 メートルから 6.1 メートル離し、各部屋を四角形で区切るようにアンカーノードを設置し、実験を行っている。各アンカーノードの位置は分かっており、この位置をもとに位置の分からないノードの位置が推定される。なお、実験では廊下、待合室、研究室の 3ヶ所で行われており、それぞれにおいて歩行者が存在する環境と歩行者が存在しない環境で実験を行っている。また、位置推定は最尤推定手法を用いて行われ、その位置推定には、RSSI の距離による減衰特性を表すパラメータが必要となるため、それぞれの場所で歩行者が存在する環境と存在しない環境に分けてパラメータを導出し、位置推定を行っている。Zemek らは、各環境において位置の分からないノードの RSSI を測定し、各 RSSI により推定される位置を求めた。いろいろな位置で推定された結果と本来の位置との誤差を各位置で 2 乗平均誤差 (RMSE) として求め、それらの平均の変化についてグラフに示している。その中で、廊下と待合室の場合には、RSSI 測定値を 1 つないし 2 つ用いて得られる推定結果に対して、歩行者の存在は推定精度を悪化させ、RSSI 測定値を 3 つ以上用いて得られる推定結果に対しては、歩行者の存在は推定精度を良くする効果があると主張している。また、研究室の場合には、RSSI の測定値の数によらず、歩行者の存在は推定精度を良くする効果があると主張している。このようなことが起こっている原因として、歩行者の存在により測定される RSSI が確率的に独立であると述べている。

Zemek らの論文では、RMSE の平均の推移を示しており、その変化により、前述の主張となっている。この平均の差が確かなものかについて統計的に検証は行っていないため、これ以上のことは不明であるが、歩行者の存在が測定値をよりランダムな値とさせることが、確率的な独立事象性を強め、確率論的な推定にポジティブな効果をもたらすという点は非常に関心がある。そこで、われわれは歩行者の存在

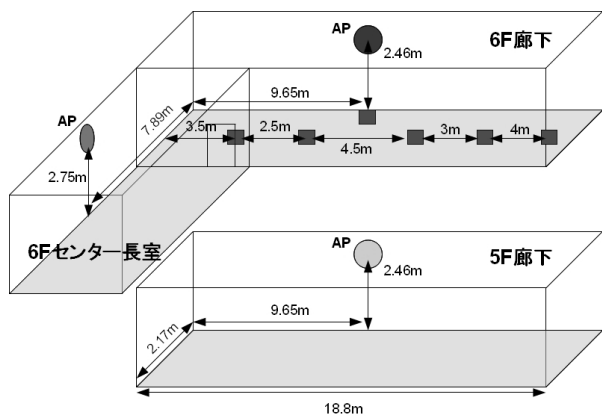


図1 実験フィールド

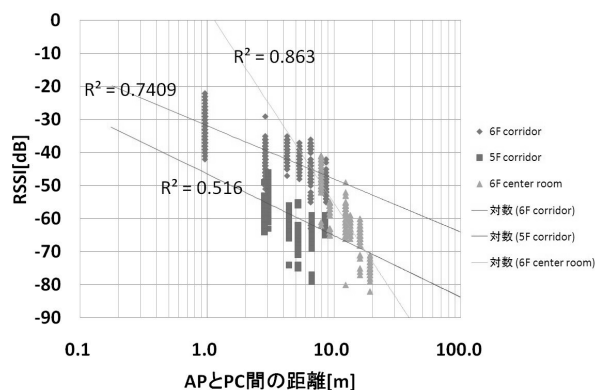


図4 「歩行者なし」における RSSI と距離の関係



図2 「歩行者あり」の実験の様子

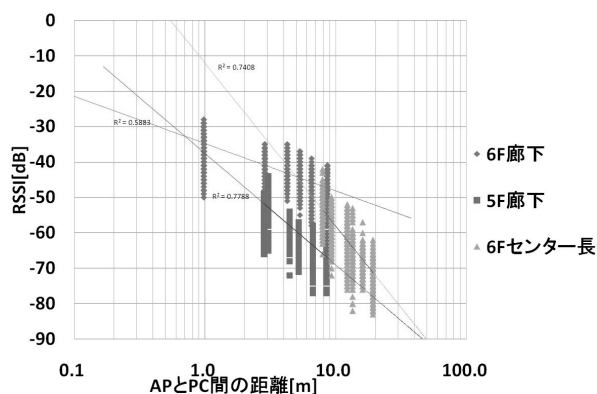


図3 「歩行者あり」における RSSI と距離の関係

が無線 LAN 推定に与える影響について次節以降で検証を行う。

3. 歩行者の存在が与える影響を調べる実験

インフラのために整備された無線 LAN 環境を用い

て、歩行者が存在する場合（「歩行者あり」）と歩行者が存在しない場合（「歩行者なし」）とで、位置推定を行い、その RMSE を比較することで歩行者の効果を検証する。今回、実験フィールドには、図1のように、6階の廊下、6階のセンター長室、5階の廊下に設置された AP3 台を用いて位置推定を行う。図1に示すように、6階廊下の6箇所（壁から3.5メートル、6メートル、9.65メートル、11.5メートル、14.5メートル、18メートルの位置）を測定ポイントに定め、各測定ポイントにおいて RSSI を測定する。PC の高さは0.5メートルに固定し、1秒ごとに45分間 RSSI を測定した。また、「歩行者あり」も「歩行者なし」も人のいない深夜に実験を行い、「歩行者あり」では4人の人が廊下をランダムに歩き回る状態とした。図2に「歩行者あり」の実験の様子を示す。実験に用いた AP は学内無線 LAN 環境のために配備されている Cisco 社製 AIR-AP1252G-P-K9 を使い、2.4GHz 帯の通信により測定を行った。

先行研究で行われている最尤推定法を用いるためには、事前に推定を行う環境での減衰特性を求めておく必要がある。無線通信において受信電力は距離のベキ指数で減衰し、自由空間であれば距離の-2乗で減衰することが知られている。マルチパスフェージングなどの他の環境因子による減衰のため、実環境においてはベキ指数の値はさらに小さな値をとる。受信電力を $\Lambda(r)$ 、AP と測定 PC の距離を r とし、そのベキ指数を α として、実環境での減衰を式に表すと

表 1 減衰特性を表すパラメータ α と C

	「歩行者あり」		「歩行者なし」	
	α	C	α	C
6 階廊下	-1.332	0.000335	-1.504	0.000649
5 階廊下	-3.159	0.000175	-2.166	0.000053
6 階センター長室	-4.604	0.062373	-5.658	1.083927

$$\Lambda(r) = Cr^\alpha \quad (1)$$

となる。 C は比例定数である。 われわれは実環境での距離と RSSI の測定結果をもとに、その実環境における α および C を決定し、そのパラメータをもとに最尤推定法を用いて位置推定を行う。 RSSI の確率密度関数が正規分布にしたがうと仮定すると、位置 r で受信信号強度 P_r を受信する確率密度 p は

$$p(P_r|r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta^2}} \exp\left(-\frac{(P_r - A(r))^2}{2\delta^2}\right) \quad (2)$$

と表される。ただし、 δ^2 は分散を表し、 $A(r)$ は $10\log_{10}\Lambda(r)$ で定義される。測定されたデータをもとにパラメータ α および C が決まり、式 (1) を使うと RSSI 測定値から r の期待値が得られる。しかし、それが尤もらしい値かどうかは判別できないため、尤もらしい期待値を導出するために式 (2) を r の関数として考え、測定される RSSI をもとに各 AP に対応する確率密度の積をとり、その積が最大となるような r を求める。この方法が最尤推定法である。

今回の測定による RSSI と距離の関係について「歩行者あり」を図 3 に、「歩行者なし」を図 4 に示す。それぞれ 3 台の AP からの RSSI と距離 r との関係がプロットされている。これより式 (1) にある α および C がそれぞれの AP に対して決定する。表 1 にその結果を示す。次節では、これらのパラメータを用いた位置推定の結果を示し、歩行者の影響について考察する。

4. 考察：不可視 AP を含む環境下における歩行者の影響

実験で行った各測定ポイントでの RSSI をもとに位置推定を行うには、各 AP について式 (2) の積をとり、次式 (3) で定義される尤度関数

$$l(r) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta_i^2}} \exp\left(-\frac{(P_{r_i} - A_i(r_i))^2}{2\delta_i^2}\right) \quad (3)$$

が最大となる $r(x, y, z)$ を求めればよい。すなわち、 x, y, z についての極値を求めることで、推定位置が求まる。このとき、 r_i は i 台目の AP と PC との距離を表す。PC の位置を (x, y, z) 、 i 台の AP の位置を $(x_i, y_i, z_i)[i = 1, 2, \dots, n]$ と表すと、 $r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$ と表される。推定によって得られる結果と実際の位置との誤差は RMSE を用いて表す。実際の位置を (x_0, y_0, z_0) とし、推定される位置を (x_e, y_e, z_e) とすると RMSE は

$$\sqrt{(x_0 - x_e)^2 + (y_0 - y_e)^2 + (z_0 - z_e)^2} \quad (4)$$

で与えられる。ただし、今回の研究では 6 階フロアのみで測定を行っており、その値をもとに位置推定を行うため、高さ方向の推定は行っていない。

測定した全データにより得られる RMSE の平均は、「歩行者あり」で 2.92 であり、「歩行者なし」で 2.29 となった。これは「歩行者あり」では本来の位置から平均して 2.92 メートルの誤差で位置が推定されることを示し、「歩行者なし」では平均して 2.29 メートルの誤差で位置が推定されることを示している。このことから「歩行者なし」における位置推定精度がよいといえる。また、「歩行者あり」の RMSE の平均と「歩行者なし」の RMSE の平均との差について t 検定を行った結果、その差 0.63 は $P < 0.01$ で有意な差であることが確かめられた。この結果は先行研究とは異なる結果となっており、先行研究で用いられる 2.4GHz 帯のセンサネットワーク機器と学内無線 LAN 機器との相違、および、先行研究のアンカーノード（われわれの研究の AP に相当）がすべて測定位置から可視できるノードによる位置推定であることと本研究のように不可視 AP を利用した位置推定であることとの相違が考えられる。

次に各測定ポイントにおいて「歩行者あり」と「歩行者なし」とで、RMSE の平均を比較した。その結果を表 2 に示す。表 2 を見ると、壁から 3.5 メートルの測定ポイント以外の測定ポイントにおいて、「歩行者あり」の RMSE が大きく、「歩行者あり」の誤差が

大きいことを示している。今回、壁から3.5メートルの測定ポイントにおいてのみ「歩行者あり」の誤差が小さいことを示しており、先行研究を支持する結果となった。

この結果は先行研究を一部支持するが、その多くは異なる結果となっており、位置推定に利用するノードを可視できる環境と可視できない環境との違いによる影響が考えられる。そこで、不可視 AP を含む環境の影響と歩行者の影響を区別するために、次節において可視 AP 環境における歩行者の影響について考察を行う。

5. 考察：可視 AP 環境下における歩行者の影響

本節では、前節の不可視 AP を含む環境下における歩行者の効果を理解するために、可視 AP 環境下での推定精度に対する歩行者の効果について考察する。具体的には、歩行者環境が同一の条件となるよう前節の実験データをそのまま用い、各測定ポイントから可視 AP の位置にある6階廊下に設置された AP のデータのみを利用し、「歩行者あり」のときの RMSE と「歩行者なし」のときの RMSE について考察する。しかし、測定ポイントに対して可視 AP は、6階廊下にある AP1 台であり、可視 AP を用いた PC の位置推定は不可能である。そこで、ここでは位置推定の対象を AP とする。つまり、測定ポイント3ヶ所における RSSI のデータとその3ヶ所の位置情報をもとに AP の位置を推定する。本来の推定対象であ

表2 「歩行者あり」と「歩行者なし」における RMSE の平均

壁から PC までの距離	RMSE		RMSE の差 A - B [m]
	「歩行者あり」 A [m]	「歩行者なし」 B [m]	
3.50	2.26	2.79	-0.53 [†]
6.00	2.28	1.22	1.06 [†]
9.65	1.11	0.61	0.50 [†]
11.50	2.35	1.16	1.19 [†]
14.50	4.53	4.14	0.39 [†]
18.00	4.98	4.02	0.96 [†]

[†]P < 0.01

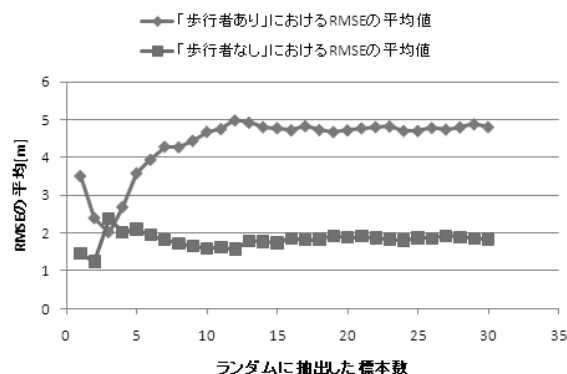


図5 可視 AP 環境下における「歩行者あり」と「歩行者なし」の RMSE 平均の推移

る PC とは異なるが、位置推定に利用される技術は同一であり、位置推定誤差の検証は可能である。

可視 AP 環境下の減衰特性を表すパラメータ C と α は、前節の表1に示される「6階廊下」における「歩行者あり」と「歩行者なし」のパラメータとなる。いま推定の基点となるのは各測定ポイントであり、測定ポイントの位置情報が既知であるとして、6階廊下にある AP から受信される RSSI をもとに AP の位置推定を行う。

壁から11.5メートル、14.5メートルと18メートルの測定ポイントの位置情報を既知とし、「歩行者あり」と「歩行者なし」のそれぞれの環境での RSSI データをランダムに30個抽出し、抽出したデータをもとに位置推定を行い、RMSE の平均をプロットしたグラフを図5に示す。その結果、RMSE の平均は、「歩行者あり」で4.81であり、「歩行者なし」で1.84となり、この平均の差について t 検定を行った結果、その差は P < 0.01 で有意な差であることが確かめられた。すなわち、可視 AP 環境下においても、「歩行者あり」の誤差が大きいことが示され、この結果は先行研究とは異なる結果となっている。

表2のように不可視 AP を含む環境と比べて、可視 AP 環境下における「歩行者なし」と「歩行者あり」の RMSE の差は大きく、顕著に違いが現れている。これは不可視 AP の場合、その RSSI の値はすでに壁や床の影響を受けた後であり、歩行者の往来による影響と比較すると壁や床の影響による変化が大

きいためであると考えられる。つまり、可視 AP から直接受信される RSSI は歩行者の往来による変化が大きい、不可視 AP からの RSSI はすでに壁や床の影響を受けており、歩行者の往来による変化は小さいと考えられる。

6. 考察：歩行者の影響と不可視 AP の影響

この節では、これまでの実験結果より位置推定結果の RMSE に着目し、歩行者による影響と不可視 AP による影響の 2 点について考察を述べる。

今回実験を行ったすべての測定ポイントにおいて、6階センター長室に設置される AP と 5階廊下に設置される AP を可視することはできない。特に、壁から 14.5メートルと 18メートルの測定ポイントでは、他の測定ポイントと比較して明らかに RMSE が大きく、これらの測定ポイントが 6階センター長室の AP と 5階廊下の AP と遠ざかっていることから、不可視の AP の影響により RMSE が大きくなっていると考えられる。このことは前節の考察からも理解できる。前節では、壁から 11.5メートル、14.5メートルと 18メートルの測定ポイントを基点として可視 AP のみを用いた環境下での RMSE を考察した。その結果は、「歩行者なし」で RMSE が 1.84 と、不可視 AP を利用した場合よりも明らかに小さく、不可視 AP を利用すると推定誤差が明らかに大きくなることを示している。

歩行者の影響について、各測定ポイントでその差を確認すると壁から 3.5メートルの測定ポイントにおいて、「歩行者あり」の場合に精度が向上していた。一方で、それ以外の測定ポイントでは、「歩行者あり」の場合に精度が下がっていた。壁から 3.5メートルの測定ポイントの結果をさらに詳しく検討するために、壁から 3.5メートルの測定ポイントで測定した RSSI のデータに対して、「歩行者あり」と「歩行者なし」とでランダムに 30個抽出し、抽出したデータをもとに位置推定を行い、RMSE の平均をプロットしたグラフを図 6 に示す。その結果、7個目の推定結果の差までは「歩行者あり」の RMSE の平均が小さく、そ

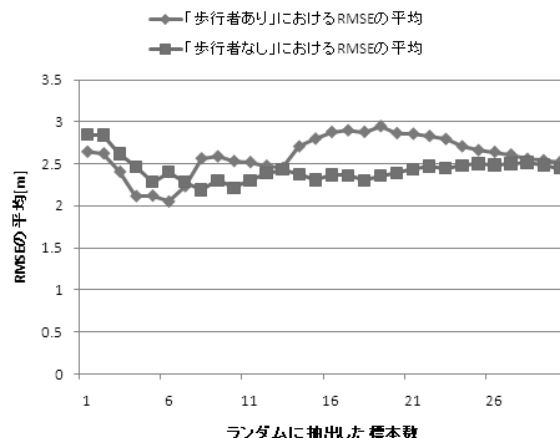


図 6 「歩行者あり」と「歩行者なし」における RMSE の平均の変化（壁から 3.5メートルの測定ポイント）

の後は「歩行者なし」の RMSE の平均が小さくなっている。これらについて t 検定を行ったが、有意な差は見られなかった。このことから標本数の少ない状態では明確にその違いを確認することはできず、歩行者により精度が向上する現象を確認するためには、相応の標本が必要であると考えられる。

その他の測定ポイントにおいて同様の検討を行ったが、「歩行者あり」と「歩行者なし」における RMSE の平均の大小が入れ代わる変化を見せる結果は得られなかった。検証結果のひとつを図 7 に示す。これは、壁から 6メートルの位置の測定ポイントにおいて測定した RSSI のデータに対して、「歩行者あり」と「歩行者なし」とでランダムに 30個抽出し、抽出したデータをもとに位置推定を行い、RMSE の平均をプロットしたグラフである。「歩行者あり」と「歩行者なし」における RMSE の平均の大小が入れ代わる変化は見られない。

7. ま と め

45分間の実験で測定されたデータすべてを用いて位置推定を行い、その RMSE を求め、平均を比較した結果、「歩行者あり」において RMSE の平均が大きくなり、歩行者の往来による影響と不可視 AP の影響を比較すると不可視 AP の影響が大きく、不可視 AP の環境下では歩行者の影響による誤差の変化は小

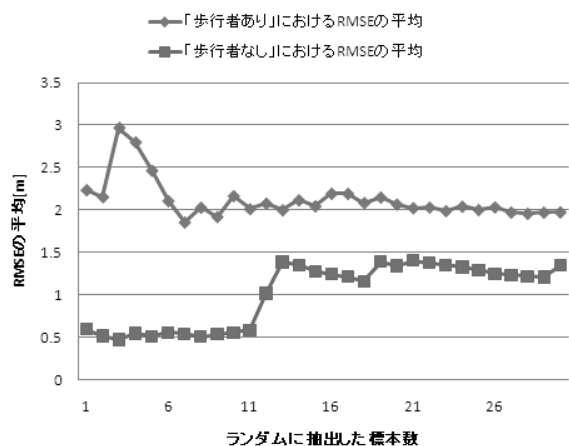


図7 「歩行者あり」と「歩行者なし」における RMSE の平均の変化（壁から6メートルの測定ポイント）

さいことがわかった。また、各測定ポイントに着目し、RMSEの平均を比較した結果、不可視APとの位置関係による影響があり、われわれが行った情報インフラのためのAPを用いた位置推定を行う場合には、不可視APを利用する影響が大きく、歩行者の往来の影響は顕著には現れないことが示唆された。Zemekらの先行研究では、歩行者の存在は確率的独立性を向上させ、結果的に推定誤差を小さくするという効果が見込まれたが、インフラとして整備されるAPを用いる場合には、直接的にその恩恵を受けることはなかった。

インフラとして整備されたAPを利用した位置推定の研究において、これまで歩行者の存在による影響について知見を与える研究はなかった。今回の研究により、不可視APを利用した位置推定において、歩行者の往来による推定精度の誤差は、不可視APを利用している影響による誤差に比べて小さく、不可視APによる影響が歩行者の往来の影響を吸収してしまうことがわかった。あらためて言うまでもないが、可視APによる位置推定が優れており、不可視APを含む環境での位置推定は相応の誤差を理解したうえでの利用が必要である。

今回、IEEE802.15.4規格の無線センサネットワーク機器による先行研究において、歩行者が存在する場合に位置推定精度が向上するという研究結果をも

とに、同様の周波数帯で通信を行う無線LANで構築された情報インフラ環境であっても同様の結果が得られるか検証を行った。その結果、先行研究を支持する結果とはならず、歩行者の往来による影響と不可視APの影響を比較すると不可視APの影響が大きく、不可視APの環境下では歩行者の影響による誤差の変化は小さいことがわかった。われわれの結果は先行研究を否定するものではなく、学内の無線LANインフラを用いた場合において先行研究の示す結果とならず、歩行者による誤差と不可視APの影響による誤差について知見を与えるものである。そして、これらの結果は、歩行者の影響を考え、既設のAPを利用した位置推定による位置情報を利用するユーザにとって有用であると考えている。

文 献

- [1] 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃, “無線 LAN を用いた屋内ユーザ向け位置測定方式 WiPS の実装”, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2004) シンポジウム論文集, pp.349-352, 2004.
- [2] N.Patwari, J.N. Ash, S. Kyperountas, A.O. Hero, III, R.L. Moses, N.s. Correal, “Locating the nodes”, IEEE Signal Process, Vol.22, No.4, pp.54-69, 2005.
- [3] 伊藤誠悟, 河口信夫, “アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線 LAN ハイブリット位置推定手法とその応用”, 情報処理学会研究報告, Vol.38, pp.13-18 2006.
- [4] J.Arias, A.Zuloaga, J.Lazaro, A.Astarloa, “An RSSI based ad hoc location algorithm”, Microprocessors and Microsystems, Vol.28, pp.403-409, 2004.
- [5] 副島慶人, 川村諒, 古川誠一, 杉谷賢一, 久保田真一郎, “学内無線 LAN 環境における電波強度測定による位置推定技術の検討”, 電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, Vol.62, 03-1A-10, 2009.
- [6] 川村諒, 久保田真一郎, 副島慶人, 古川誠一, 杉谷賢一, “既設アクセスポイントを利用した屋内位置情報取得システムのための位置推定精度による分析”, 情報処理学会論文誌ジャーナル, Vol.52, pp.1357-1364, 2011.
- [7] 趙大鵬, 高島雅弘, 柳原健太郎, 武次潤平, 福井潔, 福永茂, 原晋介, 北山研一, “センサネットワークにおける受信信号電力を用いた最尤位置推定法”, IEICE technical report, 104(690), pp.409-414, 2005.
- [8] R. Zemek, M.Takashima, D. Zhao, S. Hara, K. Yanagihara, K. Fukui, S. Fukunaga, and K. Kitayama, “Effect of walking people on target location estimation performance in an IEEE 802.15.4 wireless sensor network”, IEICE Trans. Commun., Vol.E90-B, No.10, pp.2809-2816, 2007.
- [9] S. Hara, D. Zhao, K. Yanagihara, J. Taketsugu, K. Fukui, S. Fukunaga and K. Kitayama, “Propagation Characteristics of IEEE 802.15.4 Radio Signal and Their Application for Location Estimation”, Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st, Vol.1, pp.97-101, 30 May-1 June 2005.