

機関番号：32692

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560375

研究課題名（和文）RFIDを用いた移動動線推定による安心快適ユビキタスホーム

研究課題名（英文）Indoor moving trace using RFID positioning for ubiquitous home

研究代表者

坪井 利憲（TSUBOI TOSHINORI）

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授

研究者番号：20329171

研究成果の概要（和文）：屋内における人の移動履歴を検出する技術とこれに必要な屋内インフラネットワークとしての無線アドホックメッシュネットワークのための通信プロトコルの研究を行った。移動履歴を検出する技術としてはUHF帯パッシブ型RFIDを用い、タグを天井に貼り付け、人が持つRFIDリーダーでタグを読み取り、読み取りタグパターンから人の位置を検出し、移動動線を算出する方式を考案した。さらに、アドホックメッシュネットワークに適したTCPとUDPを研究した。

研究成果の概要（英文）：

In this research we have proposed a new indoor positioning algorithm using UHF-band passive RFID, and an efficient transmission protocol for a wireless ad-hoc mesh network which is used for the positioning system. The proposed positioning system is to attach RFID tags to a ceiling. Tags have coordinates, and an RFID reader which a target person brings captures tags, then the location of the person is estimated by captured tags' coordinates. The calculation algorithm for this system has been studied. Furthermore, TCP and UDP which are suitable for the ad-hoc mesh networks are studied.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：情報通信

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：屋内位置推定、移動動線追跡、RFID、アドホック・メッシュネットワーク、通信プロトコル、QoS

1. 研究開始当初の背景

本研究は私立大学学術研究高度化推進事業 ハイテクリサーチセンター「高齢化社会における快適生活ネットワーク空間創成技術の研究開発」（H15～H19）成果を引き継いで研究を開始した。先行研究はネットワーク

技術を活用して、高齢者の活動を支援することを目的として種々の研究を行った。その課題の1つに想起支援方法があった。本研究は想起支援の方法として、屋内における人の移動履歴を検出管理することにより、想起支援ができるのではという発想により、屋内にお

ける人の位置検出と移動動線算出技術の研究を行った。

2. 研究の目的

(1) 屋内における人の位置検出方法としては、従来は位置が既知の3つ以上のノードと人間の距離を無線技術で測定し、3点測量原理で計算する方法が研究されてきた。この方法は正確な距離測定のために複雑な設備や計算を必要とした。本研究ではパッシブ RFID を用いてできるだけ簡易な方法で人の位置を測定し、移動動線を求めることを目的とした。

(2) 低コストで位置情報を伝達するためのネットワークとしては、無線アドホックメッシュネットワークが最適である。このネットワークに適した効率のよい通信プロトコルについて研究することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 屋内における人の位置検出方法として、パッシブ RFID タグを部屋の天井に貼付け、人が持ったリーダーで読取り、読み取ったタグパターンにより位置を推定する方法を考案した。この位置推定方法を用い、移動動線を計算する方法を確立した。位置推定アルゴリズムと移動動線算出アルゴリズムの研究において、実験とレイトレースシミュレーションを行った

(2) 通信プロトコルとしてはトランスポート層プロトコルである TCP と UDP について効率化の研究を行い、アルゴリズムの提案とシミュレーションによる評価を行った。

4. 研究成果

(1) 屋内における位置検出技術

① RFID 読み取りパターンによる位置推定

提案した方式は UHF 帯パッシブ型 RFID を用いる。図 1 に示すように天井に RFID タグを貼り付ける。各タグの位置は予め計測し、その座標をサーバに保存する。位置測定対象の

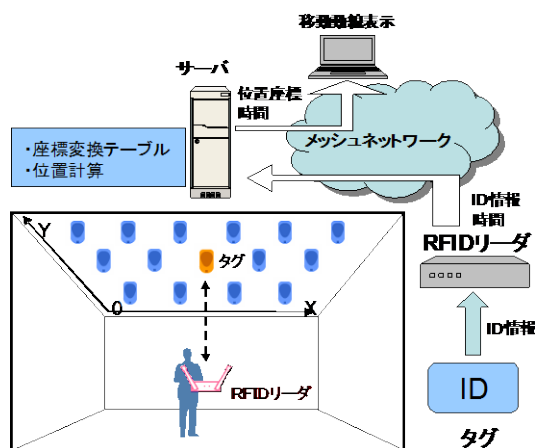


図 1 提案方式

人が RFID リーダを持つ。リーダーが読み取ったタグのパターン（座標）から位置推定アルゴリズムで位置を計算する。



図 2 (a) 実験室

0,0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	400,0
	0	10	0	8	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	4	0	0	0	0	0	0	8	
	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,400											400,400

図 2 (b) タグ読み取り例(リーダー位置左上端)

位置推定アルゴリズムとしては、最も単純な方式として読取られたタグの重心を推定位置とすることである。最初にこの方法の推定精度を実験により検証した。図 2 (a) に示すような、広さ 4m×4m、天井までの高さ 2.6m の部屋で実験を行ったときのタグの読取例を図 2 (b) に示す。

この実験は 0.5 秒ごとに 10 回連続して読取実験を行っており、読取られた RFID タグ中の数字は 10 回の読取りにおいて読取られた回数を示す。マルチパスの影響により遠方の RFID タグが読まれたり（ゴーストリード）、近傍の RFID タグが読まれない（ヌル点）という状況が生ずる。更に、読取られた回数が異なるということは、静止していても時間的に読取られる RFID タグが異なるという状況を示している。これは複数のタグを同時に読むので電波干渉や読取競合など多くの原因が考えられる。この為、単純に読取られたタグの重心を推定位置とすると推定誤差が大きくなる。

そこで、これらの要因を排除して位置推定精度を高められる方法としてクラスター法と称する方法を提案した。クラスター法による位置推定は以下の手順で行う。

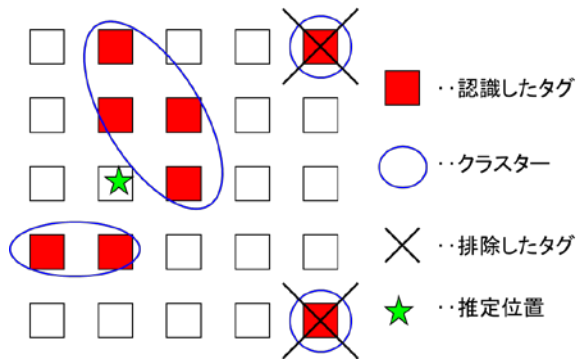


図3 クラスター法

(i) 読取れたタグを群に分ける(以下クラスター)。分別する定義として、隣り合ったタグが存在するかないかである。図3ではクラスターを丸で囲み示した。

(ii) 孤立したタグを排除する。

(iii) 残ったタグの重心を計算する。

②シミュレーションによる評価

提案した RFID タグの読取パターンによる位置推定方法のシステムパラメータ(タグ配置間隔、リーダーとタグ間の許容減衰量、リーダー送信アンテナパターン)設計と位置推定アルゴリズムの評価をレイトレースシミュレーションで行い、実験で確認した。

レイトレースシミュレータは RapLab を用いた。リーダーを送信点、タグを受信点とし、タグの受信電力を計算し、受信閾値電力を上回ったタグを読み取られたタグとした。実験を行う研究室(4m×4m、天井までの高さ2.6m)を模擬したモデルをシミュレータで作成しシミュレーションを行った。

最初にリーダー位置(床からの距離)を変化させ、室内の25か所に対して、タグ配置間隔を変化させ、推定誤差の25か所の平均値をシミュレーションで求めた。許容減衰量のものに行う実験機の値である38.5dBとした。その結果は図4のようであった。配置間隔が広くすると推定誤差は大きくなり、配置間隔が狭いほうが良いが、50cmよりも狭くしても推定誤差はあまり変化がないことが分かった。タグ枚数が少ないほうが経済的であるので、50cm間隔が最適であると言える。

タグ間隔50cmにおけるリーダー送信電力とタグ受信閾値レベルの差である許容減衰量のシミュレーション結果を図5に示す。リーダーの床からの位置により多少異なるが、ほぼ38dBが最適である。

③実験とシミュレーションの比較

前記したような実験室の天井に50cm間隔でタグを貼り付け実験を行った。マルチパスなどの影響により場所により推定誤差が異なる。実験とシミュレーションによる推定誤差のグラフを図6と7に示す。いずれもリーダーは床から103cmである。中央では誤差が少なく、端で誤差が大きくなる。

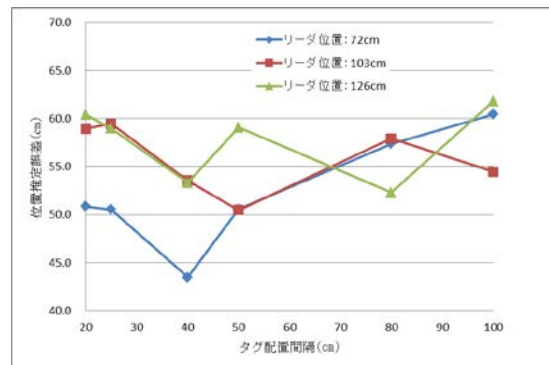


図4 タグ配置間隔と位置推定誤差の関係

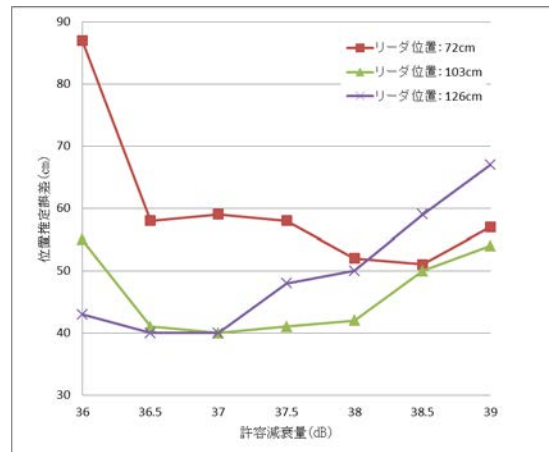


図5 許容減衰量と位置推定誤差の関係

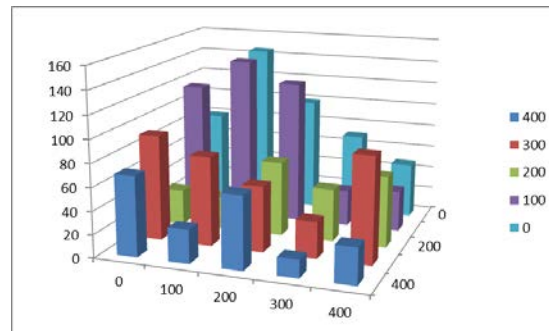


図6 場所による位置推定誤差(実験)

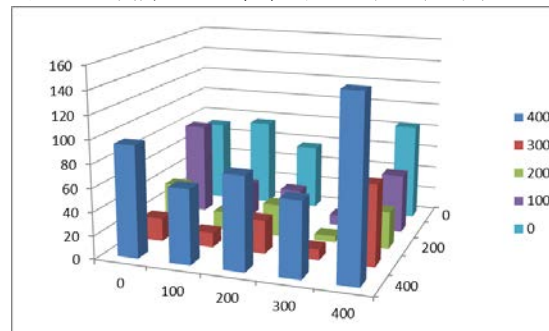


図7 場所による位置推定誤差(シミュレーション)

(2) 移動動線算出法

(1) 項の研究成果をもとに人の移動動線

を算出するアルゴリズムを研究した。人はリーダーを持って移動し、リーダーはある時間間隔でタグを読む。各読み取り時刻において(1)項で提案したクラスター法で位置を推定し、その推定点を時系列に繋ぐことにより移動動線を求めることができる。しかし、実験を行ったところ、求められた移動動線は誤差が大きいことが分かった。そこで、その原因を調べ、補正処理する方法を検討した。補正処理は以下の3項目からなる。

- (i) 端タグ補正処理：読み取られたタグの座標により部屋の端近くにいると判断した場合には推定位置を補正する。
- (ii) 移動方向予測処理：前後の推定位置を使い現在の位置を予測し、推定位置を補正する。
- (iii) 静止検出補正：静止した場合でも読み取り誤差で移動しているように推測されることがある。読み取りタグから静止していると判断した場合は、複数個の読み取り時刻の値を1つにまとめる。

移動動線算出アルゴリズムのフローチャートを図8に示す。

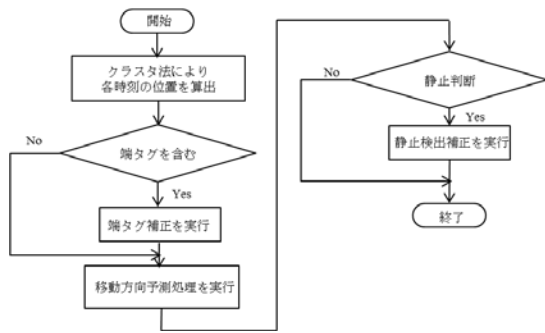


図8 移動動線算出アルゴリズム

このアルゴリズムを用いて実験を行い、移動動線を求めた結果を図9に示す。図中で破線は単純にクラスター法で推測した点を繋ぎ合わせた結果であり、赤い実線が本提案方式により推測した移動動線である。移動速度を変化させて実験を行ったが、どの速度においても良好な結果が得られた。

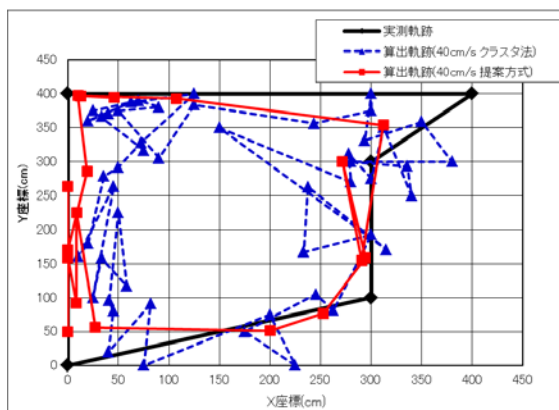


図9 移動動線推定実験結果

①人の影響による位置推定精度

リーダーを人が持つとき、人が影になり電波特性に影響を及ぼし、タグの読み取りパターンが変化することが想定される。この問題についてシミュレーションで検討した。図10は部屋の中心位置に人がリーダーを持つ場合とリーダーだけを置いた場合の位置推定誤差の比較である。

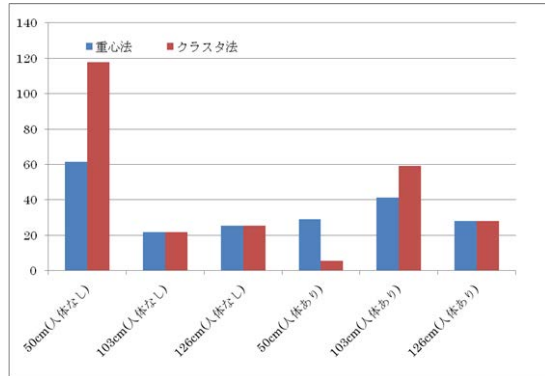


図10 人の影響による位置推定精度

人の影響はリーダーの持ち方にも関係し、図11は人とリーダーの距離を変えた場合の位置推定誤差のシミュレーション結果である。

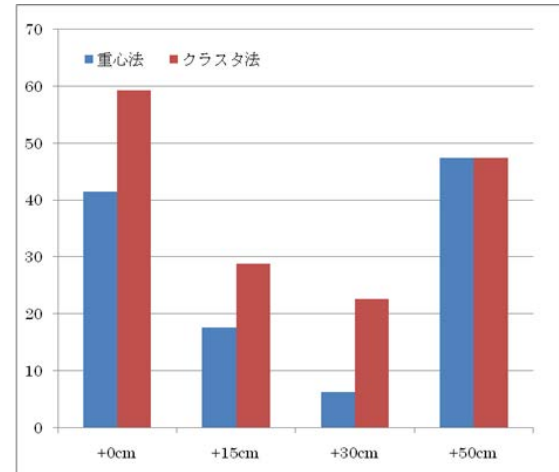


図11 人とリーダーの位置関係による位置推定精度

今後、さらに人の影響を考慮した位置推定アルゴリズムを検討する。

②タグ読み取り特性

これまでの実験ではタグ読み取りは時間的に変動がみられる。この状況を詳しく調べるために、スペクトラムアナライザーを用いて電力測定を行った。

実験室で1秒ごとに読み取りを行い、60秒間で60回の読み取り実験を行い、図12のように読み取り回数50回から0回までの9か所のタグについて、この間の電力値をスペクトラムアナライザーで測定した。測定結果を図13に示す。

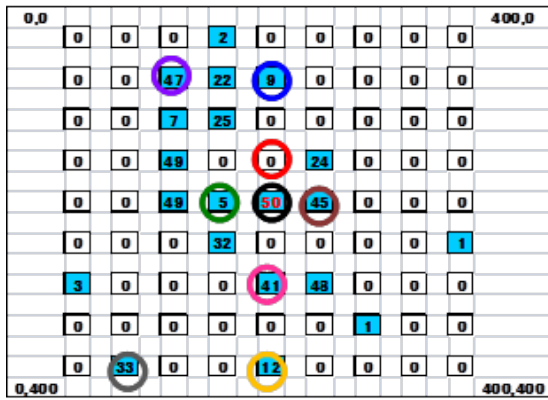


図 12 読み取り実験結果

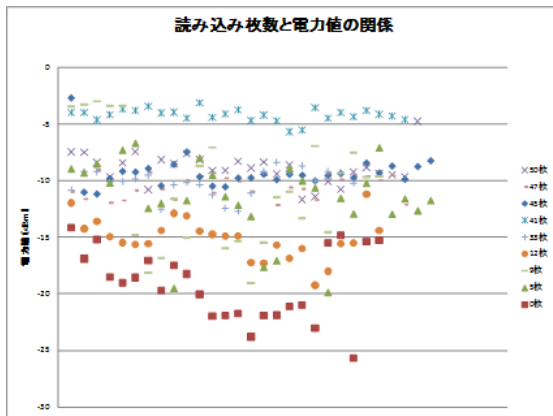


図 13 タグ読み取りとタグ周辺電力分布

読み取り回数の多いタグ周辺の電力は高く、時間的に安定している。これに対して、読み取り回数が0のタグでは受信電力が低く、かつ時間的に変動が大きい。この原因について今後調査を行い、位置推定および移動動線算出アルゴリズムの改良を行う。

(3) トランスポート層プロトコル

① Paced TCP

アドホックネットワークのようなマルチホップ通信で効率よくデータ伝送を行えるよう、Paced TCP を提案した。現在用いられている Reno TCP は輻輳制御ウィンドウに応じてバースト的にパケットを転送することに

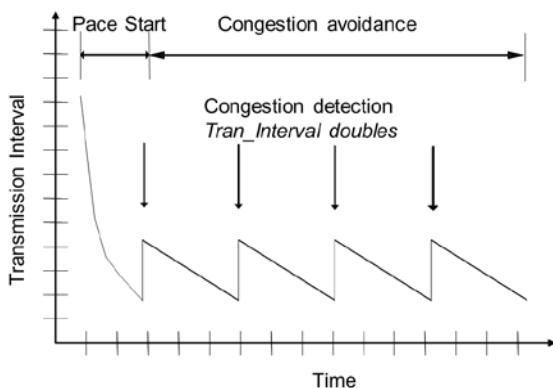


図 14 Paced TCP の輻輳制御

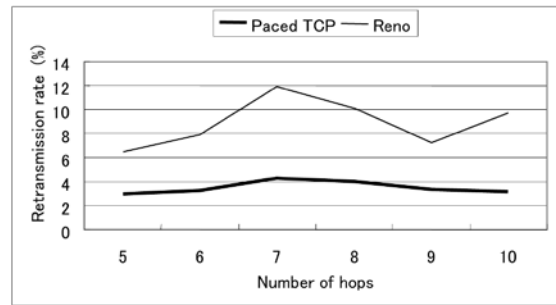


図 15 ホップ数と再送信率の関係

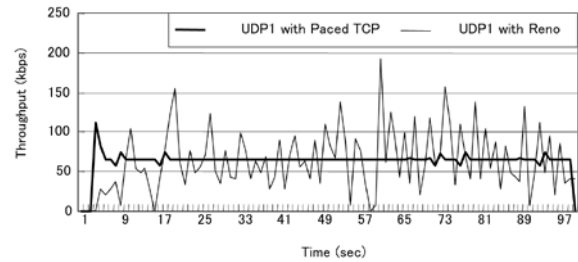


図 16 TCP と UDP が共存した場合の UDP スループット

よりスループットの向上を図っている。しかし、マルチホップ通信ではこれが逆にスループットの低下をもたらす。そこで、図 14 に示すように、輻輳状態に応じてパケット送出間隔を制御する Paced TCP を提案して、シミュレーションにより評価した。

ネットワークシミュレーションソフトウェアの ns-2 を用いて、基本的なチェイントポロジーやトラヒック量が多く厳しいグリッドポロジーを作成して評価した。図 15 はチェイントポロジーにおいて、ホップ数と再送信率を Reno TCP と比較した結果であり、Reno TCP よりも再送信率が低く、効率が高いことがわかる。

Paced TCP の再送信率が低いということは、帯域を無駄に利用する率が低いことであり、UDP トラヒックと混在する場合 UDP に対する負荷が小さいことを意味する。8×8 グリッドポロジーで UDP フロー2、TCP フロー6 のトラヒックがある場合でシミュレーションを行った結果を図 16 に示す。TCP として Reno を用いた場合と Paced TCP を用いた場合で UDP のスループット特性を比較した結果であり、Paced TCP と共存した場合のほうが UDP のスループットが安定していることがわかる。

② Adaptive Rate Datagram Protocol (ARDP)

現在の UDP は網が輻輳状態になっても一定のレートでパケットを送信する。本研究のアプリケーションのように情報量が少ない場合は TCP よりも UDP の方が効率が良いが、必ずしも一定レートである必要はなく、かつアドホックネットワークのように輻輳が発生する頻度が高い場合には効率が悪くなる。そこで、UDP をベースとして輻輳制御を行うプ

プロトコルを考案した。輻輳制御の方式は Paced TCP をベースとし、10 パケットのうち 3 パケット以上損失するか、タイムアウトが発生した場合パケット送信間隔を広げる。

これまで提案されている UDP ベースの輻輳制御方式である DCCP CCID2 とスループットを比較したシミュレーション結果を図 17 に示す。ネットワークモデルはチェインモデルで横軸は経由ノード数である。提案した ARDP のスループットは良好な値を示している。

さらに、10 ホップの時のジッタ特性の比較を図 18 に示す。DCCP はジッタの変動が大きい、ARDP はジッタ量が少なくかつ安定している。

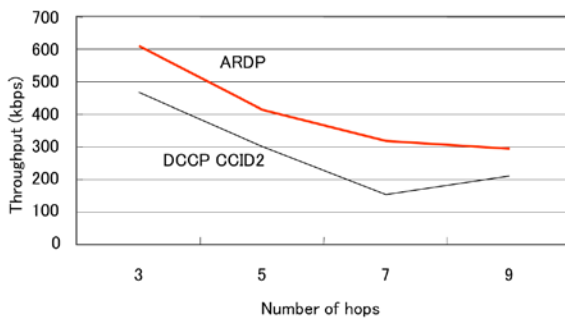


図 17 スループット比較

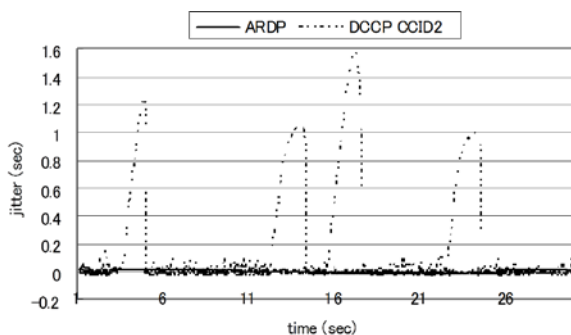


図 18 ジッタ特性の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Chang-Yi Luo, Nobuyoshi Komuro, Kiyoshi Takahashi, Hiroyuki Kasai, Hiromi Ueda and Toshinori Tsuboi, Interference drop scheme: Enhancing QoS provision in multi-hop ad-hoc networks, IEICE Trans., Communications, 査読有, Vol. E93-B, No. 8, pp. 2088-2096, August 2010
- ② Chang-Yi Luo, Nobuyoshi Komuro, Kiyoshi Takahashi and Toshinori Tsuboi, Efficient TCP with pacing for multi-hop ad hoc network, IEICE Trans., Communications, 査読有, Vol. E93-B,

No. 3, pp. 581-589, March 2010

- ③ Toshinori Tsuboi, Takehiro Shiraishi and Nobuyoshi Komuro, Indoor human positioning tracing technique to support high-quality life, Proc. ICROS-SICE Int. Joint Conf. 2009, 査読有, pp. 5745-5749, Aug. 2009

[学会発表] (計 10 件)

- ① 白鳥雄大、上田裕巳、坪井利憲、RFID 位置検出技術を用いた屋内移動動線算出アルゴリズム, 電子情報通信学会信学技報 CS2011-8, pp. 45-50, 屋久島, 2011 年 4 月 22 日
- ② 坪井利憲、小室信喜、安心快適生活のための RFID 活用に関する検討、電気学会産業システム情報化研究会 IIS-09-13, pp. 5-10, 箱根, 2009 年 3 月 5 日
- ③ Chang-Yi Luo, Nobuyoshi Komuro, Kiyoshi Takahashi, Hiroyuki Kasai, Hiromi Ueda and Toshinori Tsuboi, Adaptive rate datagram protocol in multi-hop Ad-hoc networks, 電子情報通信学会信学技報 CS2008-77, pp. 13-18, 岐阜, 2009 年 3 月 2 日

[その他]

ホームページ等

<http://www.teu.ac.jp/tslab/~tsuboi/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坪井 利憲 (TSUBOI TOSHINORI)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授

研究者番号: 20329171

(2) 研究分担者

小室 信喜 (KOMURO NOBUYOSHI)

千葉大学・大学院融合科学研究科情報科学専攻・助教

研究者番号: 70409796

(H22) 連携研究者