

Bluetooth のデバイス検出機構を用いた近接位置計測法

納谷 太[†] 野間 春生[†] 大村 廉[†] 小暮 潔[†]

[†] ATR 知能ロボティクス研究所 〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

E-mail: †{naya,noma,ren,kogure}@atr.jp

あらまし Bluetooth のデバイス検出機構を用いた屋内での近接位置計測法を提案する。屋内での位置推定技術は、作業者の業務分析やモニタリング、ユーザの行動分析など、種々の位置情報を必要とするアプリケーションにおいて重要な技術である。本稿では、具体的な対象領域として看護・医療現場における業務分析を題材としてとりあげ、1) ユーザの部屋レベルの近接情報の検知、および2) 移動しているユーザや物の相互の近接情報を検知するための要求事項について考察する。Bluetooth のデバイス検出時の問合せにおけるパラメータを効率的に選択することにより 1Hz 以上の ID 交換が可能であることおよび、受信信号強度検出とデバイス間の相互距離計測実験結果について報告する。キーワード Bluetooth, 近接位置センサ, デバイス検出機構, ロケーション・アウェアネス, 業務分析, ユビキタス・コンピューティング

Bluetooth-based Indoor Proximity Sensing by Using Device Inquiry Mechanism

Futoshi NAYA[†], Haruo NOMA[†], Ren OHMURA[†], and Kiyoshi KOGURE[†]

[†] ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

Hikaridai 2-2-2, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0288 Japan

E-mail: †{naya,noma,ren,kogure}@atr.jp

Abstract We propose a Bluetooth-based indoor proximity sensing method using Bluetooth device discovery functionality. Indoor proximity sensing techniques are becoming increasingly important in location-aware applications such as analyzing and monitoring users' activities in factories and/or office environments. In this paper, we consider the practical applicability of Bluetooth-based proximity sensing technologies in nursing environments as an example application field, and discuss the design requirements of detecting 1) room-level proximity between people and 2) mutual proximity between moving people and objects. We show that the proximity information exchange between several devices can be updated at a rate of more than 1 Hz by effectively choosing the timing parameters of Bluetooth inquiry functionality. Empirical results of evaluating Receiver Signal Strength Indicator (RSSI) at various distances between Bluetooth devices are also shown.

Key words Bluetooth, Proximity Sensor, Device Inquiry Mechanism, Location awareness, Workflow analysis, Ubiquitous Computing

1. ま え が き

近年の無線通信技術の進歩および位置情報を用いたアプリケーションのニーズの高まりにより、屋内での人や物の位置推定技術は、展示会場ガイドシステム [1], 住宅内リモートヘルスケア [2], インテリジェントオフィス環境 [3] をはじめ、様々の領域で重要になりつつある。

中でも医療看護は、ユビキタス・コンピューティング技術および位置推定技術の対象として特に重要かつ早急に対処すべき

領域の一つである。厚生労働省の報告によれば [4], 医療事故の一手前に相当するインシデント、いわゆるヒヤリ・ハットの発生件数は、報告されているだけでも年間 3 万件以上にものほり、その中で看護師および准看護師が介在する割合は 8 割近くにものほるとある。われわれは、医療看護現場における事故発生の要因分析および、看護師の業務支援を目的として「E-ナイチンゲール」プロジェクト [5] を立ち上げ、ユビキタス・コンピューティング技術を用いた看護師の自動行動記録システムの研究開発を推進している [6]。本プロジェクトの主な研究トピック

クは、1) ウェアラブルセンシング・環境センシング技術を用いた看護師行動の計測、2) センサデータから看護行動の定常パターンやそれからの逸脱を解析・抽出することによる看護行為のワークフロー分析およびリスクに関する経験的知識の構築、3) 看護師の状況に応じて適切に経験的知識を提示する技術の開発である。

病院内での位置推定は上記の目的において不可欠であり、特に看護師行動の業務分析および経験的知識をジャスト・イン・タイムに提示するために重要な技術である。既存の位置推定技術として、超音波、RF-ID タグ、IrDA、Wi-Fi を用いたものなど種々提案されている。病院環境での利用を考慮すると、Bluetooth [7] は、その特性から、院内における看護師、患者および医療機器等の位置推定に活用できる有望な無線通信技術の一つと言える。Bluetooth は ISM (Industrial, Scientific, Medical) 帯 (2.4 GHz) での高速な周波数ホッピングとスペクトル拡散通信を用いた無線通信技術であり、小電力 (class 2 で 0.25 ~ 2.5mW) かつ 10m 程度以内での近接距離における通信用途として用いられている。上記の Bluetooth の無線通信仕様は、同じ周波数帯を用いる IEEE 802.11b/g や IEEE 802.11a (5 GHz 帯) などの無線通信機器出力の 10 分の 1 もしくはそれ以下であり、医療機器への影響についてはほとんど無視できるレベルである。またこれらの無線通信との相互干渉の緩和 (AFH 機能) も考慮されているため、既設の無線環境との親和性も高い。

本稿では、特に医療看護現場における看護師行動の計測を目的とし、Bluetooth を用いた屋内の近接位置計測法を提案する。本手法は、Bluetooth のデバイス検知機構を用い、その際に得られるデバイス ID ごとの受信信号強度検出 (RSSI: Receiver Signal Strength Indicator) を、各 Bluetooth デバイス間の相互距離情報の指針として用いる。特に、移動している看護師や患者を追跡するために、近接位置情報検知の応答時間を短縮する手法を示す。具体的には、Bluetooth のデバイス検知時の問い合わせ (inquiry) に関連する時間パラメータを Bluetooth 規格のデフォルト値から変更させ、調整することにより短縮を図る。実験により、デバイス検知において 1 秒以下の平均応答時間を達成できることを示す。また、2つの Bluetooth デバイス間の相互距離に対する RSSI の分布から、看護師が医療器材を用いて作業している状況や、患者のベッドサイドにいるような状況、同一の部屋に存在して他の看護師と普通に会話ができる範囲にあるかなど、各業務状況における相互距離のクラスの識別可能性について論じる。

2. 業務分析における近接位置推定技術の重要性 — 医療看護現場を題材に —

医療看護現場での Bluetooth を用いた近接位置推定技術の要求仕様について考察するため、例として以下のようなシナリオを考える：

看護師 N_{sA} はナースステーション内の薬剤ストックエリアで病室 E401 の患者 P_{t1} に投与するための静脈

注射点滴を準備していた。点滴の準備が終わると、看護師 N_{sA} はナースステーションを抜けて病室 E401 に向かった。 N_{sA} は、点滴をセットして患者 P_{t1} への処置を開始した後、隣のベッドの超音波噴霧器 ME_a を使用している患者 P_{t2} の処置を終了し、片付けに取り掛かった。 N_{sA} は、ナースステーションに超音波噴霧器 ME_a を持ち帰り、所定の場所に整理した後、看護主任 N_{sB} に対して患者 P_{t1} への点滴の開始と、 P_{t2} の超音波噴霧処置の終了について報告した。

上記シナリオにおける各看護師 (N_{sA}, N_{sB})、患者 (P_{t1}, P_{t2}) および医療機器 (ME_a) の位置および近接インタラクションを計測するには、下記の要求事項を考慮する必要がある。

位置情報の表現および空間的精度

上記において、人および物の位置情報として以下の 2 通りを取り扱える必要がある：

- (1) 人や物の現在の位置情報。これらの位置情報は、フロア内の X-Y 座標という記述レベルよりはむしろ、部屋または部屋内の特定の領域の記述レベルで検出できることが望ましい。例えば、上記では看護師 N_{sA} がナースステーション、薬剤ストックエリアや病室 E401 に存在するという情報や、機材 ME_a がナースステーションに戻っているという情報が含まれる。
- (2) 人と人もしくは人と物との相互近接情報。例えば、看護師 N_{sA} と患者 P_{t1}, P_{t2} とのインタラクションや、医療機材 ME_a が看護師 N_{sA} によって運ばれている状況、患者 P_{t2} によって使用されている状況などを検出できることが望ましい。

Bluetooth デバイスの通信仕様は class 2, 3 で 10m 以内の距離である。この仕様は、看護師や患者、医療器材などに取りつけられた Bluetooth デバイスが、部屋や部屋内の特定領域レベル内 (5 ~ 10m) に同時に存在することを相互に検知する場合や、人や物とのインタラクション (0.5 ~ 1.5m 程度) を検出するなど、種々の近接状況に応じた距離クラスを検出するにあたり望ましい特性と言える。

以上の情報を中央サーバで随時更新・管理することにより、各看護師の業務の開始・終了イベントや、患者への処置ケアの状況、医療器材が適切に所定の場所に戻ってきているかなどを検知することができ、これにより、看護業務のトレーサビリティ、ワークフロー分析、機器管理など、種々の分析/情報提示を行うことができると考えている。

複数の位置情報提供デバイスの選択的検知

ナースステーションや病室などに据え付けられた固定型位置検知デバイスは、部屋内に含まれる全ての移動型の位置提供デバイス (看護師、患者、医療器材等に装着されたもの) を同時に検出できる必要がある。一方、看護師や機材に装着された移動型位置検知デバイスは、状況に応じて検出すべきデバイスを選択できることが望ましい。例えば、看護師に取りつけられた位置検出デバイスは、その看護師が属する同一診療科内に存在

する関連デバイスを検出できることが望ましいが、患者や機材などに装着されたデバイスは、電力消費の点でもパッシブな反応が望ましく、他のデバイスの位置検知を行う必要性は少ない。

Bluetooth デバイスは、デバイスを検出する側 (Inquiry device) もしくは検出される側 (Inquiry scan device) のいずれにも動的になることができる。さらに、検出側のデバイスは、検出時に送信する問い合わせパケットとして、ブロードキャストもしくは 64 種の規定のデバイスグループへのマルチキャストの問い合わせアクセスコード (Inquiry Access Code: IAC) を選択することが可能である。これらの特徴を活用することにより、部屋に設置した固定型デバイスには、ブロードキャストによってデバイス ID 全てを検出させ、看護師が装着したデバイスには関連のある患者や機材のデバイス ID を選択的に検出させるというような使い方が可能である。

セキュリティ

患者や看護師の行動モニタリングにおいて、プライバシー保護は重要な課題である。上記のデバイス検出の選択性により、ある特定の部屋においては、検出するデバイスを限定させるなど、看護師や患者のプライバシーを考慮した使い方が可能になる。加えて、Bluetooth は認証や通信路の暗号化など、種々の通信セキュリティを備えていることも仕様として望ましい。

信頼性

連続かつ安定してデバイスの位置情報を検出するには、複数の無線デバイス間の信号干渉を緩和する必要がある。デバイス間のパケットロスやビット誤りなども同様に少ないことが望ましい。Bluetooth は、スペクトル拡散に毎秒 1,600 回という高速な周波数ホッピング方式を採用し、同一周波数チャネルでの信号干渉を避けるとともに、各通信段階 (問い合わせ、問い合わせ応答、呼び出し、呼び出し応答、リンク確立時) での種々のホッピングシーケンスが定義されているため、個々の段階に応じて効率的な通信が行える。また、エラー訂正アルゴリズムとして CRC (Cyclic Redundancy Check) や FEC (Forward Error Correction) が実装されている。

上述の通り、Bluetooth の通信仕様は各要求項目を満し、医療現場での業務分析などの位置情報を用いたアプリケーション開発において、適切な位置情報を提供できるデバイスとして有望である。次節以降では、Bluetooth のデバイス検出手法について具体的に示し、近接位置情報交換の高速化と相互距離推定実験について述べる。

3. Bluetooth のデバイス検出機構を用いた近接位置推定法

本節では、近接位置推定に関連する Bluetooth プロトコル基本仕様の概略について説明し、デバイス検出時の問い合わせに関するパラメータを調節することにより、デフォルトの ID 交換に要する時間を高速化する手法について述べる。

3.1 Bluetooth デバイス検出機構

Bluetooth は、1 対 1 もしくは 1 対多の通信形態を提供する無線通信システムであり、2 つ以上のデバイスが同一チャネル

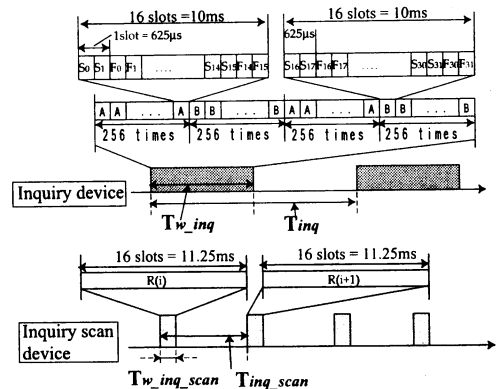


図 1 問い合わせのタイミングチャートおよび問い合わせパラメータ
Fig. 1 Inquiry timing chart and inquiry parameters.

を共有することによってピコネットと呼ばれるスター型の無線ネットワークを形成する。ピコネットでは、1 つのデバイスがマスターとなり、他のデバイスはスレーブとなる。ピコネットを形成する際には、一つ (もしくはそれ以上) のデバイスが問い合わせデバイス (Inquiry device) となり、近傍のデバイス検出のために問い合わせパケット (Inquiry packet: IQ packet) を周期 T_{inq} 毎に送信し、周囲に存在するデバイスからの問い合わせ応答パケット (Inquiry response packet: FHS packet) を受け取る (図 1)。問い合わせパケットは、一般問い合わせコードアクセス (General Inquiry Code Access: GIAC)、もしくは 63 個の規定のコードアクセス (Dedicated Inquiry Code Access: DIAC) を選択できる。

問い合わせパケットは、GIAC / DIAC のいずれの場合も、32 のチャネルを周波数ホッピングすることによって搬送される。さらに、これらの 32 チャネルは、16 チャネルずつの 2 つの集合: A トレインおよび B トレインに分けられる。各トレインでは、16 のチャネルホッピングシーケンスに従って次々と IQ パケットが送信される。周辺のデバイスは、問い合わせスキャン (Inquiry scan) を行い、同様に 32 チャネルからなるホッピングシーケンス (問い合わせ応答ホッピングシーケンス) を用いて問い合わせデバイスからの IQ パケットを検出する。このとき、問い合わせ応答デバイスは、時間 T_{inq_scan} の間隔でチャネルを次々とホップする。各ホップにおいては、 $T_{w_inq_scan}$ (デフォルトでは 11.25 ms) の間、IQ パケット検知モードに入る。問い合わせスキャンデバイスが問い合わせデバイスからの IQ パケットを検知するには、 $T_{w_inq_scan} \geq T_{train} = 10$ ms である必要がある。

Bluetooth 1.1 のベースバンド規格では、通信エラーが起きやすい環境においても全ての周辺デバイス検知を保証するために、各トレインを 256 回繰り返す、さらに A, B 交互に合計 4 回繰り返すことが推奨されている。従って、規格に基づく問い合わせデバイスの問い合わせ期間 (inquiry length) T_{w_inq} は、10.24 s (= 4 × 256 × 10 ms) も要することになる。しかしな

からこの値は、われわれの要求仕様において、移動している看護師を追跡する際、デバイス検出側が問い合わせ要求を行って問い合わせ応答を受け取り、次のデバイス検出にかかるまでの更新周期として少なくとも 1 Hz 以上を確保できることが望ましいことから、問い合わせの期間としては長すぎる。ここでは、遠くに存在するデバイスからのマルチパスなどの通信エラーにおける影響を考慮するよりも、より短い周期で検知できる近傍デバイスの情報を高速に得ることが重要である。

また、問い合わせ応答デバイス側のパラメータである問い合わせスキャンウィンドウ $T_{w_inq_scan}$ (デフォルト 11.25 ms) および、問い合わせスキャンの間隔 T_{inq_scan} (デフォルト 1.28s) の値も、デバイスの検出確率を向上するために適切に選択する必要がある。

3.2 問い合わせパラメータ調整に基づく近接位置情報推定法

本稿で提案する近接位置推定法は、Bluetooth の通信リンク接続前のデバイス問い合わせ機構を用い、近接デバイス間の ID および RSSI 値を交換することによって、人や物との相互近接位置の推定を行う。特に、Bluetooth の問い合わせ時のデバイス検知を高速化するために、以下の 3 つの方法を用いる：

(1) 問い合わせデバイスの問い合わせ期間 (T_{inq}) をデフォルト値から短縮し、問い合わせ側と問い合わせ応答側の周波数マッチングの時間を短縮する。具体的には、デフォルトの問い合わせ時間を途中で中断 (abort) することによって行う。

(2) 問い合わせ応答デバイスの問い合わせスキャンウィンドウ ($T_{w_inq_scan}$) をデフォルト値 (11.25ms) より長くし、IQ パケットを検知する確率を高める。

(3) さらに、Bluetooth 1.2 準拠デバイスでは、新たに仕様で追加された Interlace Scan を用いることにより、問い合わせスキャンにおける周波数ホッピングのパターンを、従来の (AAA...)(BBB...) 形式から (ABA...)(BAB...) のように交互にホッピングさせることができる。これにより、問い合わせ側との周波数マッチング確率の向上を期待できる。

Bluetooth の HCI (Host Controller Interface) プロトコルは、Bluetooth デバイスとシリアル接続したホスト PC からこれらの問い合わせに関するパラメータを操作する関数を提供している。また、一台の Bluetooth デバイスは、これらのパラメータを操作することにより、問い合わせおよび問い合わせ応答状態を交互に繰り返すよう設定できる。さらに、問い合わせ側デバイスが検出した周辺のデバイス ID 毎の受信信号強度検出値 (RSSI) についても HCI 経由で読みとることが可能である。

以下、次節では、上記の問い合わせパラメータを変化させた場合の問い合わせ応答時間を実験的に計測すると同時に、デバイス間の距離に応じた RSSI を測定することにより、人や物との相互近接距離を 1 Hz 以上で適切に交換できることを示す。

4. 実験

4.1 Bluetooth モジュールの構成

本実験で用いた Bluetooth モジュール (MITSUMI Corp. WML-C29NHN, class: 2, Bluetooth V1.2 準拠) の外観を図 2

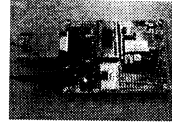


図 2 実験で用いた Bluetooth モジュールの外観
Fig. 2 Bluetooth module used in experiments.

表 1 問い合わせおよび問い合わせスキャンパラメータの設定条件
Table 1 Inquiry and Inquiry Scan parameter setting conditions.

Inquiry cond.	T_{inq} [ms]	T_{w_inq} [ms]
I	2560	1280
II	1280	640
III	640	320
IV	480	240
Inquiry Scan cond.	T_{inq_scan} [ms]	$T_{w_inq_scan}$ [ms]
a	1280	11.25
b	640	11.25
c	320	11.25
d	240	11.25
e	240	22.5
f	240	45.0
g	240	90.0

に示す。本 Bluetooth モジュールを複数台用い、問い合わせに関連する 4 パラメータ条件を様々に変化させ、その際の繰り返し問い合わせ応答の平均反応時間および RSSI 値の変化を計測した。以下、各実験手法および結果について示す。

4.2 問い合わせパラメータに対するデバイス反応時間計測

3.1 節に示した問い合わせにおけるパラメータ (T_{inq} , T_{w_inq}) および、問い合わせスキャンにおけるパラメータ (T_{inq_scan} , $T_{w_inq_scan}$) の計 4 パラメータを表 1 のように変化させ、問い合わせ応答の平均反応時間を計測した。なお、以降の実験において、問い合わせスキャンは全て Interlaced Scan で行った。

4.2.1 1台の問い合わせモジュールおよび1台の問い合わせスキャンモジュールを用いた反応時間計測

まず最初に、1台の問い合わせのみを行う Bluetooth モジュールおよび、1台の問い合わせスキャンのみを行うモジュールを用い、それぞれ机の上に 1.8m の見通し距離を話して設置した。問い合わせ側モジュールのパラメータは、表 1 の I-IV の 4 通りで行い、問い合わせスキャン側モジュールのパラメータは同表における a-g の 7 通りから選択した。単純化のため、問い合わせ時間 (T_{w_inq}) は、問い合わせ時間間隔 (T_{inq}) の 1/2 とした。問い合わせスキャン側のスキャン時間長 (T_{inq_scan}) は、問い合わせ時間 (T_{w_inq}) と同じもしくはそれ以下の値から選び、問い合わせスキャン幅 ($T_{w_inq_scan}$) は、デフォルトの 11.25 ms の定数倍として適宜選択した。図 3 に、問い合わせ側デバイスモジュールが、3 分間の試行において、問い合わせスキャン側デバイスモジュールからの応答を 100 回以上検知できた際の平均反応時間を示す。

28 の組み合わせ条件のうち、 $T_{inq_scan} \leq T_{inq}$ を満す 22 の組み合わせで連続的な応答検知を確認した。これらの条件の中では、問い合わせスキャン側のパラメータ条件 f ($T_{inq_scan} = 240$ ms, $T_{w_inq_scan} = 45$ ms) で最短の反応時間を達成し、その値は IV-f の条件において 547 ms であった。問い合わせ側の時間間隔 (Inquiry Interval) $T_{inq} \leq 640$ ms において 1 s 以下

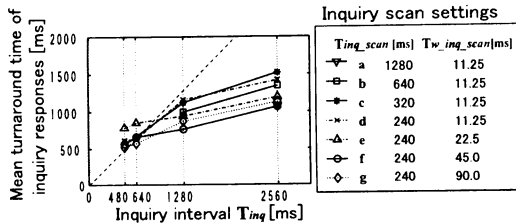


図3 2台のモジュールを用いた場合の問い合わせパラメータに対する問い合わせ応答の平均反応時間
Fig. 3 Mean turnaround time of inquired device responses for inquiry parameters

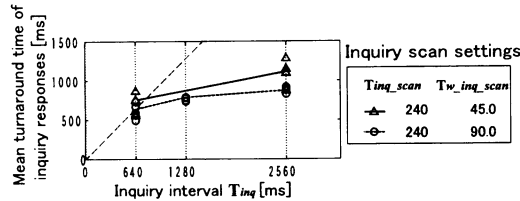


図4 問い合わせと問い合わせ応答を交互に繰り返す4台のモジュールでの平均反応時間
Fig. 4 Mean turnaround time of inquiry responses between devices that each act as both inquiry and inquiry response device interchangeably

の平均反応時間であり、Bluetooth 規格における期待値 (1.28 s) [14] よりも短い結果を得ている。

4.2.2 4台の問い合わせ・問い合わせスキャンを同時に行うモジュールによる相互反応時間計測

次に、問い合わせおよび問い合わせスキャンを交互に行う Bluetooth モジュールを4台用い、各モジュールが相互の ID を検出する平均反応時間を評価した。4台のモジュールは、2つのデバイスを用いた実験と同様、机上の相互見通し距離 1.0 - 1.5m の間に設置して行った。図4に問い合わせ時間間隔 (T_{inq}) に対する問い合わせ応答の平均反応時間を示す。ここでは、問い合わせスキャンのパラメータについて意味のある2条件 (f および g) における結果のみを示す。各モジュールは他の3台からの問い合わせ応答を受け取るため、各4台の問い合わせ時間間隔 (Inquiry Interval) に対して3台からの反応時間の平均値の4プロットが示されている。また直線は、これらの平均値を結んだものである。図4から、 $T_{inq} = 1280$ ms および 640 ms の条件下において、各モジュールが 1 Hz 以上の周期で ID 交換できる結果が得られた。

4.3 モジュール間相互距離に対する反応時間および RSSI の計測実験

次に、問い合わせ・問い合わせスキャンを交互に行うモジュール A, B の2台を用い、モジュール間の相互距離に対する反応時間および RSSI を計測した。上記までの実験と同様、相互に見通しのある室内環境にて行い、問い合わせに関するパラメータは、いずれも IV-g の組み合わせを選択した。各距離において 100 回以上の問い合わせ応答を収集し評価した。図5にモ

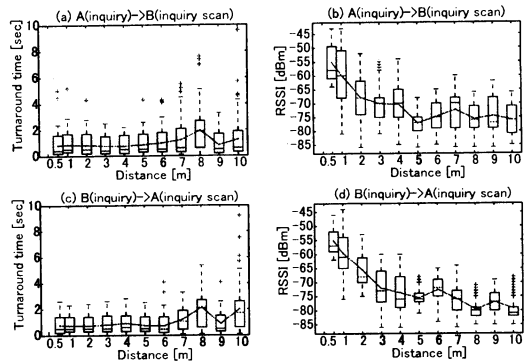


図5 2つの固定デバイス間の距離に対する問い合わせ応答の平均反応時間および RSSI
Fig. 5 Turnaround time & RSSI vs. distance between two stationary devices

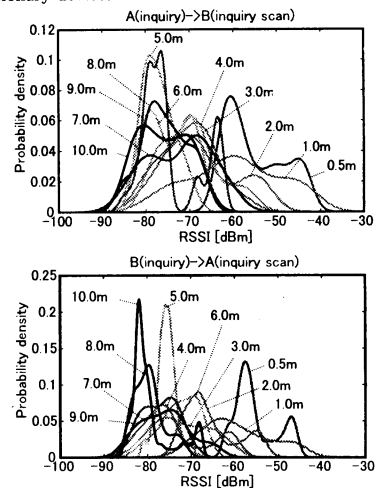


図6 2つの固定デバイス間の距離に対する RSSI の密度推定
Fig. 6 Density estimation of RSSI at each distance between two stationary devices

ジュール間相互距離に対する各モジュールでの反応時間 (左) および RSSI (右) の箱ひげ図を示す。図中で、各ボックスは第2, 第3四分位範囲を示し、+のプロットは、ボックスの上下端から四分位範囲の1.5倍以上離れた外れ値を示す。多少のばらつきがあるものの、いずれのモジュールにおいても、相互距離が 0.5 - 5m の間では平均して約 0.6 s の応答時間が得られており、また RSSI についてもほぼ単調現象の傾向が見られた。6m 以上の距離においては、マルチパスの影響が無視できなくなり応答時間および RSSI 値の分散が大きくなる傾向が見られるが、5m 以内においては約 0.6s (=1.6Hz) の反応時間が得られ、近接情報の追跡に十分な更新速度を達成している。また図6に、各モジュールからの距離に応じた RSSI のガウシアンカーネルを用いた密度推定結果を示す。部屋内の環境要因により、RSSI の分布は A, B において非対称となっている。距離

に対して RSSI 値がオーバーラップする部分はあるが、RSSI 値を複数サンプリングすることにより、相互距離が 0.5m 以内、3.0m 以上、5.0m 以上などの離散的なクラスについての識別が可能である。部屋内に固定した複数の Bluetooth 基地局において、移動体に付けられた Bluetooth モジュールとの相互距離に基づく RSSI 値をプロファイリングすることにより、屋内での位置をパーティクルフィルタ [8] などのベイズ統計手法を用いることで推定が可能である。

5. 関連研究

既存の屋内の位置検出システムとして、超音波 [9]、RF-ID タグ [10]、IrDA [11]、Wi-Fi [12] を用いたものや、これらを組み合わせたもの [8] など多数提案されている (位置推定技術に関するサーベイ論文としては [13] で詳しく比較検討されている)。

病院内での利用を考慮すれば、RF-ID や Wi-Fi を用いたシステムは候補の一つと言える。RF-ID の空間分解能は 1-3m が実現されているが、単一周波数のためマルチパスの影響に弱く、結果的に空間分解能の信頼性や位置情報更新頻度は落ちる。Wi-Fi については、直接拡散方式を用いているため、マルチパスおよび相互干渉の影響は避けられない。Bluetooth は周波数ホッピングによるスペクトル拡散技術を用いており、同一周波数帯での通信が確保できる場合のみに通信が行われるため、信号干渉およびマルチパスの影響については軽減されている。Ir-DA はピンポイントの精度で位置推定が可能なシステムであるが、赤外線を送信側と受信側のより厳密な見通しが必要であると同時に、位置精度を向上するには多数のノードを必要とし、結果的にインフラのコストが高くなってしまふ。部屋レベル内での近接情報 (5 ~ 10 m 程度) および、人と人、もしくは人と物とのインタラクション (0.5 ~ 1.5 m 程度) を単一の無線技術で実現する方法として、Bluetooth は十分実用的であるといえる。Bluetooth を用いるもう一つの利点として、商用の Bluetooth デバイスが特別なハードウェア拡張を必要とせずに検知できることが挙げられる。例えば、Bluetooth を備えた電子ペンなどと看護士の備えた Bluetooth デバイスとの近接インタラクションを検知することにより、それらの使用状況などを同時に観測でき、人の行動分析において有用な情報となりうる。

Bluetooth を用いた近接位置検出技術はこれまでにいくつか提案されている [14],[15]。これらは Bluetooth 1.1 準拠の通信方式を用い、ピコネット接続を前提とした手法である。しかし、ピコネット接続では、1 台のマスタに対して最大 7 台のスレーブしか同時に接続できない。本手法は、ピコネット接続以前の問い合わせ機構を用いているため、検知するデバイスの数の制限はない。また、問い合わせ時のパラメータを、Bluetooth 準拠の値から強制的にキャンセルさせて短縮化させ、逆に問い合わせスキミング時のウィンドウ幅を長くすることにより、ID 交換に要する平均反応時間を 0.6 s 以下にすることができ、RSSI を用いた相互距離情報を交換できることを示した。

6. おわりに

Bluetooth を用いた近接位置推定法を提案した。位置情報を

必要とするアプリケーションとして、特に医療看護における業務分析を題材として取り上げ、近接位置推定技術として必要な要求事項について考察した。Bluetooth の問い合わせ機構におけるタイミングパラメータを規格値から変化させて調整することにより、Bluetooth デバイスが相互の近接情報を 1 Hz 以上の周期で交換できることを示した。また、デバイス相互間の距離に対する RSSI 値の分布を評価することにより、いくつかの距離クラスでの識別ができる可能性について確認した。今後の課題として、実際の病院環境における近接位置の推定実験および、移動デバイスの位置推定実験を進める予定である。

謝 辞

本研究は情報通信研究機構 (NICT) の研究委託により実施したものである。

文 献

- [1] C. Ciavarella and F. Paternò: "Design criteria for location-aware, indoor, pda applications.", *Mobile HCI*, pp. 131-144 (2003).
- [2] S. S. Intille, K. Larson and E. M. Tapia: "Designing and evaluating technology for independent aging in the home", *Proc. Int. Conf. on Aging, Disability and Independence* (2003).
- [3] A. Ward, A. Jones and A. Hopper: "A new location technique for the active office", *IEEE Personal Communications* (1997).
- [4] 厚生労働省: "<http://www.mhlw.go.jp/topics/2001/0110/tp1030-1.html#2-1>" (2001).
- [5] E-ナイトンゲールプロジェクト: "<http://www.e-nightingale.org/>".
- [6] H. Noma, A. Ohmura, N. Kuwahara and K. Kogure: "Wearable sensors for auto-event-recording on medical nursing - user study of ergonomic design", *Proc. 8th ISWC2004*, pp. 8-15 (2004).
- [7] "Bluetooth sig inc.: Bluetooth core specification version 1.2 (<http://www.bluetooth.org/>)" (2003).
- [8] D. Fox, J. Hightower, L. Liao and D. Shuzl: "Bayesian filtering for location estimation", *IEEE Pervasive Computing*, 2, 3, pp. 24-33 (2003).
- [9] M. Addelee, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggle, A. Ward and A. Hopper: "Implementing a sentient computing system", *IEEE Computer*, 34, 8, pp. 50-56 (2001).
- [10] T. Ogawa, S. Yoshino, M. Shimizu and H. Suda: "A new in-door location detection method adopting learning algorithms", *Proc. First IEEE Int. Conf. on PerCom'03*, pp. 525-530 (2003).
- [11] R. Want and A. Hopper: "Active badge and personal interactive computing objects", *IEEE Trans. on Consumer Electronics* (1992).
- [12] P. Kontkanen, P. Myllymäki, T. Roos, H. Tirri, K. Valtonen and H. Wettig: "Topics in probabilistic location estimation in wireless networks", *Proc. 15th IEEE Int. Sym. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications* (2004).
- [13] J. Hightower and G. Borriello: "Location systems for ubiquitous computing", *IEEE Computer*, 34, 8, pp. 57-66 (2001).
- [14] G. Anastasi, R. Bandelloni, M. Conti, F. Delmastro, E. Gregori and G. Mainetto: "Experimenting an indoor bluetooth-based positioning service", *Proc. of the ICDCSW'03*, pp. 480-484 (2003).
- [15] M. Nilson, J. Hallberg and K. Synnes: "Positioning with bluetooth", *Proc. 10th Int. Conf. on Telecommunications(ICT2003)*, Vol. 2, pp. 954-958 (2003).