

近距離無線通信 Bluetooth Low Energy を用いた

医療応用可能なアプリケーションの開発と実証実験

有阪 直哉

要約

【背景と目的】

医療の IT 化に伴い医療機器と医療機器が構成するネットワークは徐々に変化している。医療機器の外部接続用インターフェースは D-sub9pin などから Ethernet コネクタなどとなり、ネットワークも有線 PAN から有線 LAN に置き換わっている。2019 年度に個人のスマートフォン所有率は 67%、インターネットの利用率は 90% に達しており、モバイルにインターネットを使用できる環境は重要な社会基盤となっている。医療においても院内でのモバイル端末の利用や無線 LAN の設置などが進んでいる。

Bluetooth Low Energy(BLE)は、無線 PAN を構成する無線規格で、現代のスマートフォンやコンピュータなどにはほぼ搭載されている。しかしながら BLE は通信 IC がハードウェアに搭載されていても、ソフトウェアが Generic Attribute Profile(GATT)に対応していないと利用できない。2009 年に BLE が公開されたが、2012 年に iOS、2013 年の末に Mac OS が BLE に完全対応し、2014 年末に Android、2015 年に Windows が対応した。一般的な無線 LAN 機器よりも射出する電波の出力が小さいため医療機器への影響はないが、医療ではあまり積極的に用いられていない。

患者や医療スタッフのスマートフォン利用の増加とそれに伴う無線 LAN などの院内通信インフラの整備が進む。さらにスマートフォンの利用増加に伴って BLE の通信インフラも整備される。本研究では医療において発展途上である BLE を利用し新たなシステムを開発することで、医療におけるスマートフォンと BLE の可能性を示す。

【方法】

スマートフォンと BLE を利用した位置情報取得システムと歩行時の姿勢解析システムを開発し評価した。

位置情報取得システム

院内の位置情報の取得は医療スタッフの行動分析や動線評価が可能である。しかしながら新規デバイスを導入する必要があるため、導入や維持のための経済的な負担増加や、清拭などの日頃の管理などスタッフの負担増加が懸念される。そこで、なるべく新規導入のデバイスが必要なく導入が容易な位置情報取得システムを開発する。院内に設置されたコンピュータや患者あるいは医療スタッフが所有するスマートフォンをノードとして、BLE による無線 PAN と Ethernet による LAN を利用する。位置情報取得システムは、タグ、固定ビーコン、モニタの 3 つの機能で構成される。タグは識別子として動作し、固定ビーコンがタグの近接を BLE により検知してモニタに LAN を介して通知する。モニタは固定ビーコンとタグの

情報を記録管理する。

BLE 電波の経路減衰の調査とシステムの動作検証を行った。経路減衰の調査は柱や木などの障害物、天井や壁などの反射板のない屋外で行い、通信距離[m]と受信信号強度(RSSI: Received Signal Strength Indicator)[dB]の関係を調査した。システム動作検証は、建物内で位置情報取得システムを動作させ、実際に在室状況を検知可能かを調査した。

姿勢解析システム

一般的に歩行時の姿勢解析は複数カメラから構成される 3 次元動作解析装置と、床反力計を組み合わせで行われる。これらの装置は大型で高価であり、広い測定空間が必要である。そのため、姿勢解析によって測定される歩行能力は高齢者などの運動能力を示す重要な指標であるにもかかわらず、これらの装置は医療現場ではほとんど利用されていない。そこで歩行能力の指標となる歩行時の姿勢変化、歩数、歩行速度を簡単に計測できるシステムを開発する。患者にスマートフォンを装着しセンサによる計測を行う測定用デバイスと、タイマー機能による歩行速度計測が可能なりモートコントローラの 2 つの機能で構成される。リモートコントローラは測定用デバイスを BLE で遠隔操作可能で、計測をインターネット上のクラウドストレージに自動アップロードできる。市販の歩数計では計測不能な歩行速度の患者や、異常歩行でも歩数が測れるよう、歩行の周期性に着目し、歩行時加速度の最大周波数から歩行周期を求め歩数を算出した。

姿勢計測の妥当性と有用性の検証と、歩数計測の有用性の検証を行った。姿勢計測の検証では仙骨後面と胸骨前面に測定用デバイスを装着し、歩行時の姿勢変化を角度で計測した。3 次元動作解析装置と本システムとで姿勢変化の計測を行い比較した。また高齢女性と若年女性で姿勢に変化が見られるかを確認した。歩数計測の検証では歩行速度が 30[m/min]未満で片麻痺を呈する者が介助のある状態で 2 分間歩いたときの歩数を計測し、目視カウントとの比較を行った。

【結果】

位置情報取得システム *経路減衰の調査*: RSSI は通信距離が長くなるにつれて非線形に減少し、BLE の理論経路減衰項と二乗平均平方根誤差 4.5[dB]で一致した。通信を行うデバイスによる有意な差はなかった。*システムの動作検証*: 部屋 A、B、C に固定ビーコンを設置し、タグを持ったまま A から C に移動した。モニタではタグが A に入室した時間と、退室した時間が記録され、次にタグが C に入室した時間と、退室した時間が記録された。システムが正常に稼働しタグの位置情報を取得できたことが確認できた。また本システムの通信路を介して離れた部屋間でのテキストメッセージの送受信が可能であることが確認できた。姿勢解析システム *姿勢計測の妥当性と有用性の検証*: 歩行速度が増加すると 3 次元動作解析装置との誤差が大きくなることが示された。3[km/h]以下の歩行速度であれば、3 次元動作解析装置と比較して本システムで ± 3 [degree]以内で体の傾きを計測できることが示された。高齢女性は若年女性に比べ有意に歩行時の胸骨前面が前傾し、仙骨後面が後傾することが示された。これは高齢女性は体幹が弓状の姿勢になって歩行していることを意味し、先行研究の知見と一致した。*歩数計測の有用性の検証*: 本システムで目視カウントとの相対誤差が平均 8.7%であった。市販の歩数計は測定不能であった。

【考察】

位置情報取得システム

開発した位置情報取得システムの位置検出分解能は、固定ビーコンの設置台数に依存する。

固定ビーコンが密に設置されていれば、近接を判断する RSSI 閾値の範囲を狭められる。これは、利用目的に応じてある区間、場所のみ位置検出の分解能を高める、あるいは逆に低めることができる。本システムはテキストデータだけでなくどのようなデータでも送受信でき、通信が必要なアプリケーションの基盤となりうる。さらに BLE と Ethernet 対応のデバイスであればタグ、固定ビーコン、モニタのどの機能でも動作でき、既存の環境や資産を利用して容易にシステムの導入が可能である。本システムの応用例としては、院内感染の防止や管理に利用可能である。医療スタッフと対象者の詳細な接触情報を取得できる。

姿勢解析システム

速い歩行速度では計測に限界があるものの、3[km/h]以下の歩行であれば三次元動作解析装置との差 ± 3 [degree]以内で計測ができる。さらに若年女性と高齢女性で年齢による歩行時の姿勢変化の差異を示すことができたため、本システムでの姿勢計測の妥当性と有用性を示すことができたと考える。異常歩行での歩数計測では、市販の歩数計では計測できなかった歩行速度 30[m/min]未満の片麻痺患者の歩行を相対誤差約 9%で計測できたため、有用性が示されたと考える。開発した姿勢解析システムは 3 次元動作解析装置と床半力計の組み合わせによる測定方法と比べ計測項目は限られるものの、導入費用や持ち運びや計測の容易さの点で優位性がある。本システムは実際に 4 つの医療機関で臨床研究に使用された。

位置情報取得システムと姿勢解析システムの 2 つのシステムを組み合わせ、さらなる応用ができる。測定用デバイスとタグの機能を組み合わせ、歩行路に固定ビーコンを定着し歩行距離を検出することで、測定者がいなくとも被験者のみでの計測ができると考えられる。

【結論】

BLE とスマートフォンで室内の位置情報を検出するシステムを構築し、さらに患者の歩行状態を簡単に測定ができるシステムを開発することで臨床研究に資することを示した。これらのシステムにより BLE とスマートフォンの臨床現場での利用可能性を示した。