

BLE による距離推定技術に関する基礎的研究

飛島建設 正会員 ○木村 圭佑 飛島建設 正会員 松田 浩朗
マック 正会員 宮原 宏史 マック 野村 拓夢

1. はじめに

建設業における労働災害は、近年減少傾向にあるものの依然として多い。特に、作業機械と作業員が接触する事故が多くみられる¹⁾。作業機械との接触を防止するために、作業員の位置を把握するニーズが高い。これまでに、レーダーや赤外線、ステレオカメラを用いた画像認識、RFID や Wi-Fi 等の電波強度を利用した機械と人との接近を警告するシステムが開発されている²⁾。一方で、近年 BLE(Bluetooth Low Energy)を用いた技術が急速に発展している。BLE は他の方式と比べ、省電力、低コストといった面で有利であることが挙げられる。本研究では、BLE 方式のビーコンを用いた距離推定の可能性を評価することを目的に、その電波特性を実験により検証した。本報ではその結果を示す。

2. 実験概要

実験の概要を図1に示す。本実験では、電波強度と推定距離との関係を調べるために、送信機として電波発信の時間変更が可能な、オカバマーキングシステム社の BLE ビーコン BLE-TI000 を選定し、また、受信機として Raspberry Pi 3 を選定した。機器設定は、送信機の出力電波強度 (TxPower: 送信機から 1m 地点での電波強度) を -56dBm, 出力間隔を 100ms と 500ms の 2 種類とした。受信機は作業機械の高さ 1.5m 地点に設置し、送信機は 1.0m の三脚上に設置した。周囲に遮蔽物のない環境下において、受信機から 1m, 2m, 5m, 10m, 15m, 20m 地点に送信機を移動させながら、それぞれ 60 秒間測定を実施した。

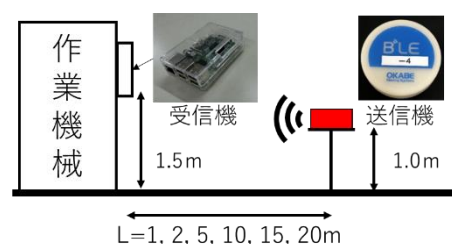


図1 実験内容模式図

3. 実験結果

ここでは送受信機間距離 5m について述べる。電波出力時間間隔を 100msec とした場合の電波強度の経時変化を図2に示す。図中横軸は経過時間、縦軸は電波強度を示している。電波強度の最大値は-51dBm, 最小値は-71dBm で 20dB の差があり大きくばらついていることがわかる。また、電波の出力間隔を 500msec とした場合の電波強度の経時変化を図3に示す。こちらも最大値は-51dBm, 最小値は-71dBm である。このことから、出力時間間隔を変更しても電波強度のばらつきを抑えることができないことがわかる。よって、そのまま電波強度を用いて距離を推定するのは精度面で困難で、ばらつきを抑えることが求められる。

次に、平均値によりばらつきを抑えることを考える。図4は出力間隔が 100msec の場合について、受信電波

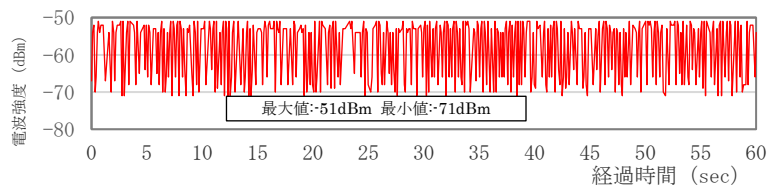


図2 受信電波強度 (5m 地点 100ms)

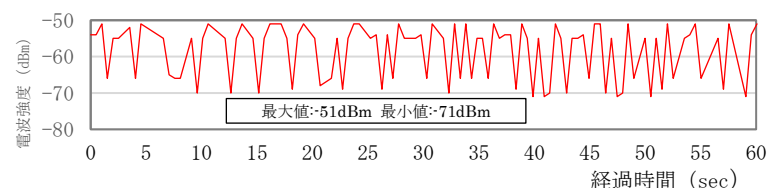


図3 受信電波強度 (5m 地点 500ms)

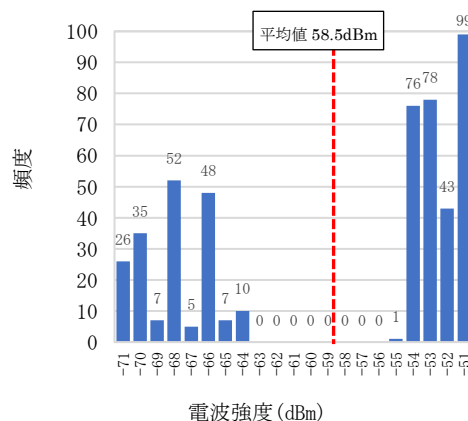


図4 電波強度ヒストグラム (100ms, 5m)

キーワード Bluetooth Low Energy, BLE, 安全管理

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設(株)技術研究所 TEL 04-7198-7572

強度のヒストグラムを示している．図中の赤波線は電波強度の平均値を示している．図より，電波強度は最大値付近と最小値付近に偏りがあり，平均値付近の電波強度は得られず，平均値でばらつきを処理することは難しい．

次に最大値について考える．出力間隔 100msec の場合について，図 2 より電波強度が高い部分を比べるとほぼ同様の値を示していることがわかる．電波受信時点での区間最大値（電波強度と直近に受信した電波強度を(a)は 3 個，(b)は 5 個，(c)は 10 個とした中での最大値）

を図 5 に示す．図より(a)の場合は最大 4dB，(b)は 3dB，(c)は 2dB のばらつきに抑えられ，区間を広げるほど安定することがわかる．ただし，(c)の場合は最大で 1 秒のタイムラグが発生するため，安定性と即応性のバランスを考える必要がある．

なお，以上について他の送受信機間距離についても同様の傾向が見られた（表 1 参照）．

4. 考察

本実験で得られた送受信機間の距離と，その地点での最大電波強度の関係を示したものを図 6 で示す．送受信機間距離が長くなるほど電波強度が減衰していくことがわかる．ここで，電波強度と距離の関係はフリスの公式より，

$$\text{電波強度} = -20 \log(L) + \text{TxPower} \dots \text{式(1)}$$

で求められる（式中 L は送受信機間距離）．本実験では，送受信機間距離が 1m 地点での電波強度の最大値が -40dBm であったため，この値を上式に代入したものを理論式として青色実線で示す．

ここで，図 5 に得られたばらつきの推定距離への影響を考える．表 2 は，実験を実施した送受信機間距離について，電波強度のばらつきの推定距離への影響量を，式(1)を用いて求めたものである．表から，5m 地点での電波のばらつきが 20dB の場合，推定距離に 12.1m の差が見られるが，10 個の区間最大値を用いることで 1.8m になることがわかる．

5. おわりに

本研究では，BLE ビーコンの特性を把握する目的で安価に入手可能な BLE ビーコン及び受信機を用いて検証を行った．今回使用した機器では受信時の電波強度にばらつきが発生したが，区間最大値を採用することで安定した結果を得られ，距離推定精度が向上することを確認した．距離推定精度の向上を目的に今後も検証を行う予定である．

参考文献

- 堀智仁：掘削用機械による死亡災害の分析，建設機械施工 Vol.70 No.2（通巻 816 号），pp20-24，2018．
- 駒坂翼，宮本多佳，中田真弥：道路建設業における人と機械の協調安全技術の開発，建設機械施工 Vol.70 No.2（通巻 816 号），pp34-39，2018

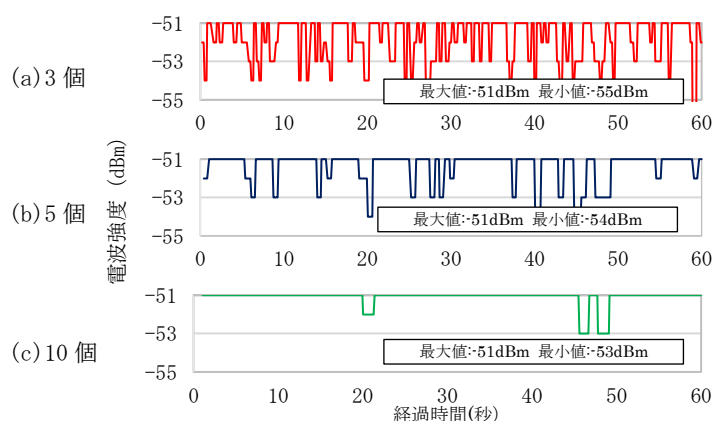


図 5 電波強度の区間最大値

表 1 実験結果

送受信機間距離(m)	1	2	5	10	15	20
最大値(dBm)	-40	-45	-51	-58	-62	-64
最小値(dBm)	-69	-68	-71	-79	-87	-77
最大値-最小値(dB)	29	23	20	21	25	13
平均値(dBm)	-52	-54	-58	-67	-73	-67

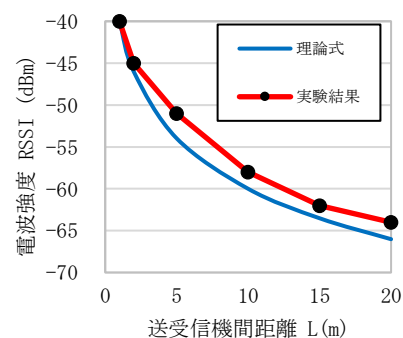


図 6 距離と電波強度との関係

表 2 送受信機間距離と電波強度差の関係

電波強度差 (dB)	送受信機間距離(m)					
	1	2	5	10	15	20
-2dB	0.4	0.7	1.8	3.6	5.5	7.3
-3dB	0.5	1.1	2.7	5.3	8.0	10.6
-4dB	0.7	1.4	3.6	7.2	10.8	14.4
-20dB	2.4	4.9	12.1	24.3	36.4	48.6

推定距離の変化量 (m)