

タイル状二次元通信における微弱信号伝送

2016年3月, 複雑理工学専攻, 47-146097, 福井雄大

指導教員: 篠田裕之 教授

キーワード: 二次元通信, 微弱無線局

1. 背景・目的

二次元通信はシート内に電磁波を閉じ込め, その表面に形成される近接場を利用して, 通信を行うことのできる技術である[1]. 三次元空間を伝搬する電磁波に比べ, シート内では伝搬損失が小さく, 障害物による遮蔽が生じない. そのため, 空中への放射を微弱無線相当まで低減しながら, シート内には高密度の電磁波を維持することが可能であり, 高速通信を実現する可能性がある.

微弱無線とは, 無線局からの距離が 3 m での電界強度が $35 \mu\text{V/m}$ 以下であれば, 使用用途や周波数に制限なく, 自由に電磁波を使用できる規格である. この制限は, マイクロ波帯の 8 GHz での電力に換算すると, -124 dBm/MHz となり, 熱雑音以下である. したがって, 安定した SN 比を維持できるのは 1 m 未満となり, 三次元空間中での利用は難しい. そこで, 二次元通信シートを使用することにより, 微弱無線の利用を考えている.

シートによる通信環境を任意に拡張するためにアンプを内蔵したアクティブ方式の二次元通信タイルが提案されている[2]. 図 1 のように 50 cm 角のシートを OA フロアのように床一面に敷き詰めることで, 任意の広さの床面を覆うことができる. タイル間の接続には減衰が生じるが, アンプを用いて減衰分を補い, 信号強度を一定に保つことで, 出力制限が著しく小さい微弱無線の使用を可能にする.

本稿では二次元通信シートをタイル状に床に並べ, 部屋全体に微弱無線を使用した通信環境を構築する際, タイル内伝送路の設計を行う. また, 試作したタイルの SN 比の評価を行う.

2. タイル内伝送路の設計

タイル間接続のトポロジーを図 2 に示す. 各タイルは隣接するタイルと二辺で接続されており, タイルをライン状に繋げていくことで大面積への敷設を実現する. この時, 一端にはアクセスポイント (AP) が接続されており, タイルを利用する通信端末は AP 下のネットワークへ接続することになる.

試作した二次元通信タイルのブロックダイアグラムを図 3 に示す. タイル内には 2 本の伝送路がある. 一つは AP からの信号をすべてのタイル・シートへ伝送するブロードキャストライン (BL). もう一つは, 各シートからの信号を AP へ伝送するレシービングライン (RL) である. 伝送路を 2 つ設けることで, 信号を双方向へ増幅しながら伝送することを可能にしている.

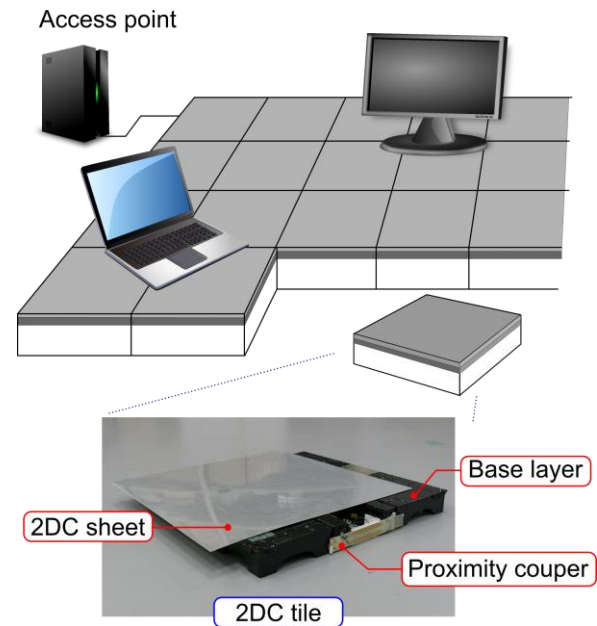


図 1: 二次元通信タイル環境. 50 cm 角のベース層に内蔵された増幅回路と接続機構により, 一定強度に維持された信号をすべてのタイルへ伝送可能にする.

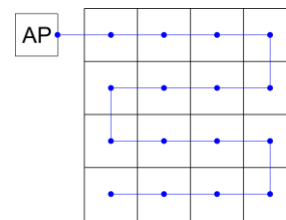


図 2: 接続トポロジー. タイルは一列に繋がっており, タイル端には AP が接続されている.

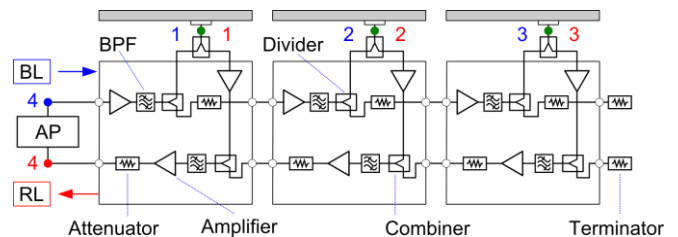


図 3: 試作タイルのブロックダイアグラム.

この時, 隣接するタイル間でループ経路が形成されてしまう. アンプを導入した経路のため, 利得が 1 を超えると発振してしまう. そこで, 本稿の二次元通信タイルでは, BL と RL で異なる周波数を使用し, ループする信号はバンドパスフィルタ (BPF) において減衰させることで発振を抑制している.

試作タイルの使用周波数を表 1 に示す. また, AP—各シート間 (図 3 の赤と青で示す点間, BL は S14, S24, S34, RL は S41, S42, S43) の利得を表 2 に示す. 利得は使用帯域幅で平均をとった値である. 各

表 1 : 試作タイルの仕様周波数.

	Lower (BL)	Higher (RL)
中心周波数	7.3 GHz	8.5 GHz
帯域幅	640 MHz	690 MHz

表 2 : AP—タイル間の利得.

	Tile 1	Tile 2	Tile 3
BL	-0.9 dB	+2.0 dB	-1.0 dB
RL	-1.2 dB	+0.5 dB	-0.7 dB

シートへの信号は、利得±2 dB で伝送可能なタイルを実現した。

3. ノイズの考察

・微弱無線の適応

アンテナ利得 G_T , 送信電力 P_T [W]の無線端末から距離 D [m]の位置の電界強度 E [V/m]の関係は次式になる.

$$E = \frac{\sqrt{30G_T P_T}}{D} \quad (1)$$

二次元通信シートをアンテナとみなした時の利得 G_T は-13.7 dB[3]であるため、微弱無線の無線端末から 3 m で 35 μ V/m を式に当てはめると、シートへ印加可能な電力は-50.7 dBm/MHz となる。

・ノイズの計算

二端子回路の入力と出力の SN 比の比をノイズ・ファクタ (NF) と呼び、回路の雑音の増加指数を表す指標がある。タイル 1 枚を通過したときの NF を F , シートを通過したときの NF を F_S とするとタイルを n 枚通過したときのノイズは次式で表せる。

$$N^n = \{(n-1)(F-1) + F_S L_S\} N_0 \quad (2)$$

L_S はシートの減衰, N_0 は熱雑音である。(1)式で求めた印加可能最大電力と(2)式の雑音から SN 比の推移を計算したグラフを図 4 に示す。また、微弱無線を空中利用した場合の伝搬損失による SN 比の劣化も同時に示す。BL ではタイルを 100 枚接続しても SN 比として、30 dB 以上維持可能である。一方で RL では SN 比が 30 dB 以上なタイルはなく、40 枚で 10 dB 以下になってしまうことが示された。RL では AP へ向かって伝送する信号に対して、各タイルを通過するたびにシートからの信号が結合される。結合により新たにノイズが加算されることで、SN 比が BL よりも劣っている。微弱無線を空中利用した場合は、タイル 4 枚分の距離で熱雑音よりも小さくなってしまいうため、通信が不可能になる。したがって、二次元通信タイルを使用

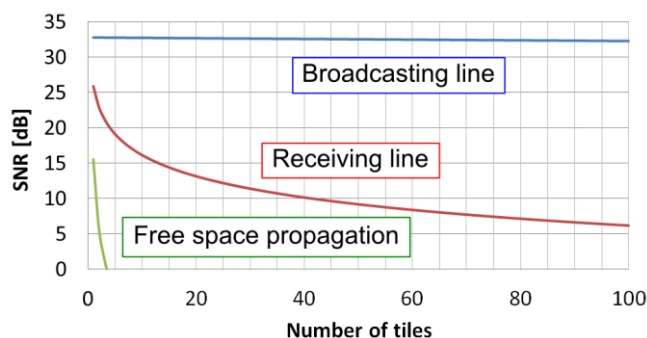


図 4 : SN 比の推移. 青い線が BL, 赤い線が RL, 緑の線が微弱無線を三次元空間中で使用したときの伝搬損失による SN 比の劣化を表している. タイルへの入力電力は -50.7 dBm/MHz、空間中への入力は-64.3 dBm/MHz, 室温 290 K での熱雑音-114 dBm/MHz で計算した。

することで、微弱無線の利用可能範囲を拡張できることが示された。

4. 結論

二次元通信タイルの伝送路を設計した。3 枚接続したタイルを試作した。AP—各シート間の利得は±2 dB 以内に維持し、一定強度の信号の伝送を実現した。計算において、40 枚までのタイルであれば 10 dB 以上の SN 比を維持できることを示した。これは、微弱無線を三次元空間中で使用したときの距離の 20 倍である。二次元通信タイルを使用することで、微弱無線の通信範囲の拡張が可能であることを示した。

参考文献

- [1] H. Shinoda, Y. Makino, N. Yamahira, and H. Itai: "Surface sensor network using inductive signal transmission layer", Proc. Fourth International Conference on Networked Sensing System, pp.201-206, June 2007.
- [2] A. Noda and H. Shinoda: "Active Tile for Room-Size UWB 2-D Communication", Proc. 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 668-671, Meijo University, Shioyamaguchi, Tempaku-ku, Nagoya, Japan, December 13 2015.
- [3] Akimasa Okada, Akihito Noda and Hiroyuki Shinoda: "Effect of the Surface Insulator on UWB 2D-Communication Sheet," Proc. SICE Annual Conference 2014, pp. 1966-1969, Sapporo, September 9-12, 2014.