

スマートファクトリにおける通信品質を考慮した移動経路最適化

Trajectory Optimization of Automated Guided Vehicle for QoS Improvement in Smart Factory

棚木 拓海
Takumi Tanagi

安達 宏一
Koichi Adachi

電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター (AWCC)
Advanced Wireless & Communication Research Center (AWCC), The University of Electro-Communications

1 まえがき

屋内工場で自動搬送車 (AGV: Automated Guided Vehicle) を用いた製品や材料の運搬はマテリアルハンドリングと呼ばれ、マテリアルハンドリングを含む物流業務プロセスはスマートファクトリにおいて重要な役割を担う。特に Industry4.0 において、スマートファクトリでの無線通信技術の利活用が期待される。一方で、金属体が多数存在する劣悪な屋内伝播環境における通信品質の保証が必要不可欠である。筆者らは以前、スマートファクトリ内を移動する AGV を対象として、与干渉信号電力を考慮した疑似通信レートの総和を最大化する移動経路を動的計画法 (DP: Dynamic Programming) により求解し、モバイルエッジコンピューティング (MEC: Mobile Edge Computing) のタスク処理性能について評価した [1]。[1] ではパソロスのみを考慮した伝播環境を想定し評価していたが、電波の遮蔽や反射等を起こす障害物が比較的密に配置される屋内環境に対しては不十分な検討であった。そのため本稿では、i) パソロス及び空間相関を有したシャドウイングを考慮した伝播環境下にて、ii) 直交多元接続における周波数利用効率の総和を最大化する移動経路を DP により求解し、その結果を報告する。

2 経路最適化

正方形の屋内工場エリアにおいて、各 AGV $i \in \mathcal{I} = \{1, 2, \dots, I\}$ が総移動時間 T [s] 内で初期地 $\mathbf{u}_{i,S}$ から目的地 $\mathbf{u}_{i,E}$ まで単一基地局に接続しながら移動する環境を想定する。

各 AGV は時分割多元接続を用いて基地局に対してデータ伝送を行う。チャンネルはパソロス及び空間相関を有したシャドウイングを考慮し、2次元直交座標系で表される任意の地点 \mathbf{u} におけるチャンネル利得 $\gamma(\mathbf{u})$ は次式で与えられる。

$$\gamma_{dB}(\mathbf{u}) = 10a \log_{10} \|\mathbf{u} - \mathbf{u}_{BS}\| + b + 10c \log_{10} f + \eta_{dB}(\mathbf{u}) \quad (1)$$

ここで、 a , b , c はそれぞれパソロス指数、パソロスオフセット、伝播周波数係数、 $\|\mathbf{u} - \mathbf{u}_{BS}\|$ [m] は位置 \mathbf{u} と基地局とのユークリッド距離、 f [GHz] は搬送波周波数、 $\eta(\mathbf{u})$ は位置 \mathbf{u} におけるシャドウイング損失 [2] を表す。

移動時間 T を間隔 Δ_t [s] の N 個の時間スロット $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ に分割し、各時間スロットで AGV i が達成可能な周波数利用効率の総和を最大化する経路最適化問題を以下のように定式化する。

$$\underset{\{\mathbf{u}_i[n], \forall n\}}{\text{maximize}} \sum_{n=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P\gamma(\mathbf{u}_i[n])}{\sigma^2} \right) \quad (2a)$$

$$\text{s.t. } \mathbf{u}_i[n+1] = \mathbf{u}_i[n] + \delta \mathbf{u}_i[n], \forall n \in \{1, 2, \dots, N-1\} \quad (2b)$$

$$\|\delta \mathbf{u}_i[n]\| \leq V \Delta_t, \forall \delta \mathbf{u}_i[n] \in \mathcal{U}_{\text{diff}} \quad (2c)$$

$$\mathbf{u}_i[1] = \mathbf{u}_{i,S} \quad (2d)$$

$$\mathbf{u}_i[N] = \mathbf{u}_{i,E} \quad (2e)$$

ここで、 $\mathbf{u}_i[n]$ は時間スロット n における AGV i の位置、 P [W]

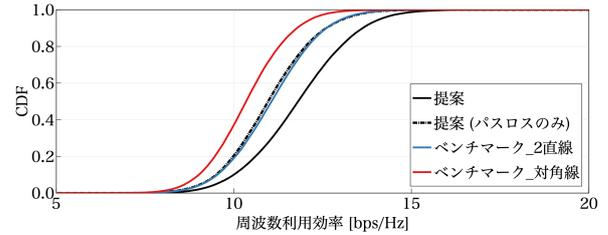


図1. 周波数利用効率の CDF

は送信電力、 σ^2 [W] は雑音電力、 $\delta \mathbf{u}$ は制御入力、 V [m/s] は最大移動速度を表す。この時、AGV の物理的大きさはゼロと仮定していることに注意する。この問題は正方形エリアの格子線間隔 Δ_d [m] を与えることで解くことができる [1]。

3 シミュレーション評価

基地局は正方形エリア 50×50 [m²] の外周にランダムに設置され、AGV はエリアの 2 組の対頂点中のランダムな 1 組を初期地及び目的地にもつものとする。その他のパラメータは $T = 70$ [s], $\Delta_t = 1$ [s], $\Delta_d = 1$ [m], $I = 3$, $V = 1.5$ [m/s], $f = 6$ [GHz], $P = 10$ [dBm], $\sigma^2 = -94$ [dBm] とする。図1に各時間スロットにおける AGV 1 台あたりの達成可能な周波数利用効率の累積分布関数 (CDF: Cumulative Distribution Function) を示す。図の凡例に関して、“提案” はパソロス及び空間相関を有したシャドウイングが既知な場合に提案手法で求められる経路、“提案 (パソロスのみ)” はパソロスのみが既知な場合に提案手法で求められる経路とする。“ベンチマーク_2直線” は初期地-基地局の設置位置-目的地間を直線的に等速で移動する経路、“ベンチマーク_対角線” は初期地-目的地間を直線的に等速で移動する経路とする。図1より、他の手法と比較して、提案の移動経路は達成可能な周波数利用効率の CDF 特性を向上できていることが分かる。これは、提案手法で決定された最適な経路が、基地局との距離に依存するパソロス及びエリアでの位置に依存するシャドウイングを考慮し周波数利用効率の総和を最大化するためである。

4 まとめ

本稿では、DP による経路最適化を提案し、パソロス及び空間相関を有したシャドウイングを考慮した伝播環境下で周波数利用効率特性が向上することを示した。今後は、環境内の静的障害物や他 AGV との衝突回避を考慮した検討を進める。

謝辞 本研究開発は NICT 委託研究 (採択番号 07301) の委託を受けて行われたものである。

参考文献 [1] 棚木ら, “マルチユーザ MEC システムにおける無線環境を考慮した移動ユーザの経路設計及び資源割当,” 信学技法, 2022 年 11 月. [2] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), “Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 ghz,” in 3GPP TR 38.901 V16.1.0, Dec. 2019.