

Mixed Reality による可視化とハンドトラッキングを用いたアドホックネットワーク管理方法

代表研究者 源 田 浩 一 日本大学 工学部 教授

概要

アドホックネットワーク（アドホック NW）の利用を促進するために、日常の NW 状態の監視やデバイス間接続の更新等の基本的な NW 制御を、保守者が自ら高度な NW 技術を必要とせず実施出来ることを目指して、複合現実（MR）を用いてアドホック NW に仮想オブジェクトを重畳する可視化方法やジェスチャーによる簡易で直感的な制御方法が検討されている。本研究調査では、保守性の向上を目的に、MR を用いたアドホック NW の可視化精度の向上と、オフィス等のリモート環境における仮想オブジェクトを用いたアドホック NW の再現及び制御方法を明らかにした。精度向上の点からは、デバイス毎に複数種類の表示指標を用意し、保守者の装着する MR ゴーグルが利用シーンに応じてそれぞれのデバイスに適切な指標を自動的に選択し仮想オブジェクトを高い位置精度で表示する方法を提案した。リモート環境における NW 再現の点からは、リモート環境に NW を所望するサイズで再現するため、現実空間のデバイスの位置情報を基にあらかじめ定めた比率に従い縮小して可視化し、さらに可視化された NW のサイズを保守者のジェスチャーにより柔軟に変更する方法を提案した。これらの提案方法を、MR ゴーグルとして HoloLens2 を用いて実機検証し、その有効性を確認した。

1 はじめに

無線通信機能を備えるデバイスが直接接続するアドホックネットワーク（アドホック NW）は、激甚災害等により通信が途絶した時の臨時ネットワークとしてのみでなく、農地における温湿度や山地における地形変化の環境モニタリングのように日常においても有効な用途は多い。しかし、バッテリーによる限られた電力供給や不安定な無線通信環境、特に屋外で利用する場合は厳しい設置環境等によりデバイス動作が不安定となり、デバイス間の接続が切断または自動的に接続変更が発生する等、NW が動的に変化する場合がある。このため、NW の保守者は、NW 状態を頻繁に監視し、NW 状態に応じてデバイス間接続を更新する等の高度な NW 管理技術と大きな負担が求められる。これは、アドホック NW の導入や利用継続を判断する際の大きな課題である。アドホック NW の利用を促進するためには、日常の NW 状態の監視や、デバイス間接続の更新や新たなデバイスの追加等の基本的な NW 制御を、保守者が自ら高度な NW 技術を必要とせず大きな負担なく実施出来ることが望まれる。

この課題を解決するため、先行研究[1]では、複合現実（MR）[2]を用いて、現実空間のアドホック NW に仮想オブジェクトを重畳する可視化と、デバイス間接続の更新等の簡易な NW 制御を可視化した NW に対してジェスチャー（ハンドトラッキング）[3]で実施する方法を提案した。

本研究調査では、先行研究を前進させ、保守性の更なる向上を目的に、①MR を用いたアドホック NW の可視化及びハンドトラッキング制御の精度向上と、②オフィス等のリモート環境における MR を用いたアドホック NW の再現及び制御方法を明らかにした。

2 先行研究

図 1 は先行研究[1]で目指す MR を用いたアドホック NW 管理の全体像である。保守者は、MR 機能を備えたヘッドセット（MR ゴーグル）を着用して、現実空間のアドホック NW に対して、(1)デバイスとデバイス間接続を表すオブジェクト（それぞれデバイスオブジェクト、接続線オブジェクト）やデバイスのバッテリー残量等の NW 状態を重畳して可視化し、NW を監視する。(2)保守者は、監視を通して、例えばデバイス B のバッテリー交換が必要と判断した時、デバイス C をデバイス A と接続変更するために、デバイス AB 間とデバイス BC 間接続の削除及びデバイス AC 間接続の設定を、仮想オブジェクトをハンドトラッキングで直接操作することで行う。MR 空間で更新されたデバイス間接続等は現実空間のアドホック NW に反映される。このように、保守者は簡易な NW 更新をハンドトラッキングのみで直感的に実現する。

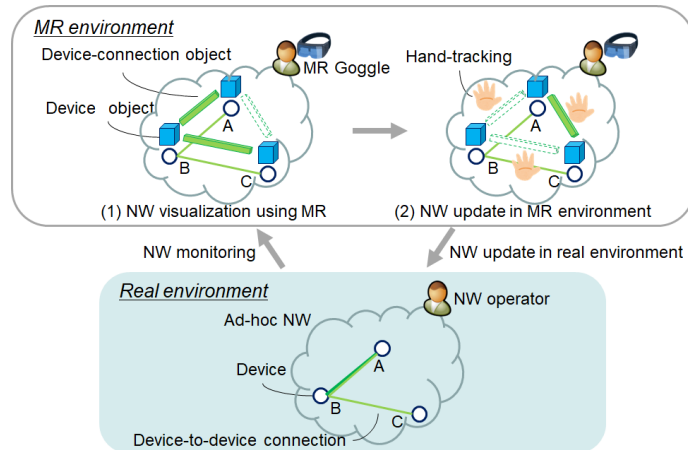


図1 MRを用いたアドホックネットワーク管理の全体像

先行研究[1]では、MR ゴーグルとして HoloLens2[4]を用いて、「マーカー」と「緯度経度の位置情報」をデバイスオブジェクトの表示指標として、デバイスとデバイス間接続の可視化と、デバイス間接続の更新を実機検証しその実現性を確認した。

3 MR を用いたアドホック NW の可視化及びハンドトラッキング制御の精度向上

3-1 可視化精度の課題

MR 空間に表示する仮想オブジェクトの表示指標は、マーカー、緯度経度の位置情報、RSSI（電波受信強度）等、様々あるが、いずれも長所・短所がある。例えば、マーカーの場合は、マーカー上に仮想オブジェクトを表示するため高い位置精度を提供できるが、マーカーと保守者の距離や向きで仮想オブジェクトを表示できない場合がある。一方、位置情報の場合は、保守者とデバイスの緯度経度や方位角から仮想オブジェクトの表示位置を決定するため保守者からの距離や向きによらず仮想オブジェクトを表示できるが、表示位置の精度はGPS等の機器精度に依存する。

アドホック NW ではデバイス間距離は数十 m となる場合があるため、保守者から数 cm だけ離れたデバイスから数十 m 先にあるデバイスを同時に可視化出来る必要がある。また、マネジメントをする上で、保守者の視界に入る全てのデバイスを出来るだけ高い位置精度で可視化する必要がある。このため、保守者はデバイスまでの距離、天候や時間帯等の利用シーン毎に適切な表示指標を決定・変更する必要がある、保守者にとって大きな負担となる。

3-2 提案方法

上記課題を解決する為、デバイス毎に複数種類の表示指標を用意し、MR ゴーグルが利用シーンに応じてそれぞれのデバイスに適切な指標を自動的に選択し仮想オブジェクトを表示する方法を提案した[5、6]。

本研究調査では、指標は汎用的に使用されている「マーカー」と「緯度経度の位置情報」を用い、MR ゴーグル視野内に存在する全てのデバイス及びデバイス間接続を出来るだけ高い位置精度で可視化するために、デバイスオブジェクトは、MR ゴーグルがマーカーを認識できる時はマーカー上に、認識できない時は位置情報に基づき計算した MR ゴーグルの表示位置に表示する。また、接続線オブジェクトは、両端のデバイスオブジェクトの位置に連動して可視化する。

3-3 検証

提案方法を、(1) デバイス毎の適切な指標を自動的に選択してデバイスオブジェクトを表示、(2) 異なる指標のデバイスオブジェクト間の接続線オブジェクトを適切に表示、(3) 異なる指標の接続線オブジェクトをハンドトラッキングで更新、の点から実機検証した。図2は本研究調査のネットワーク管理システムであり、MR ゴーグルとして HoloLens2 を用いた。HoloLens2 の動作環境は Unity と MRTK を用いて構築した。また提案方法に関する動作プログラムを独自開発した。

図3(a)は保守者が遠方から全てのデバイスのデバイスオブジェクトを位置情報を用いて可視化した時、(b)は保守者がデバイス#5のマーカーを認識できる地点まで移動した時の HoloLens2 を通してみた NW のス

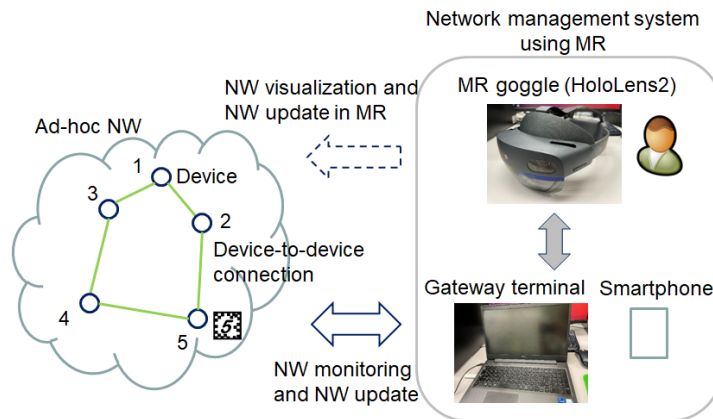
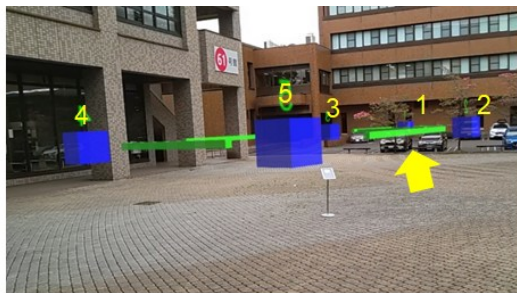
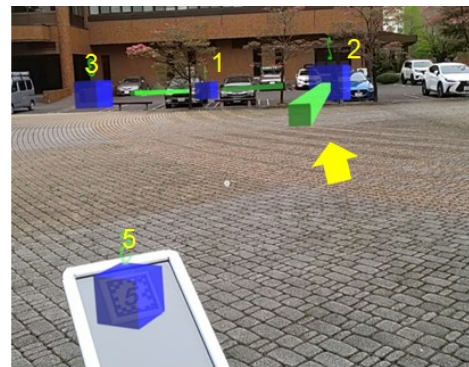


図2 ネットワーク管理システム



(a) 全てのデバイスの指標が位置情報の場合



(b) デバイス#5の指標がマーカーの場合

図3 可視化されたアドホックネットワーク

ナップショットである。保守者の移動に伴いデバイス#5のオブジェクトは位置情報で計算された位置からマーカー上に自動的に移ることを確認した。また、デバイス#2と#5間接続においては、(a)指標がどちらも位置情報の時から(b)デバイス#5のみマーカーとなった時に、両端のデバイスオブジェクトの位置に対応して適切に表示されることを確認した。また、異なる指標で可視化されたデバイスオブジェクト間の接続線オブジェクトの更新を、両端が同一の表示指標の時と同様に実施出来ることを確認した。

4 リモート環境におけるMRを用いたアドホックNWの再現及び制御

4-1 目的

現実空間のアドホックNWに仮想オブジェクトを重畳して管理することに加えて、オフィス等のリモート環境においても同様に管理できることにより、天候や時間帯の制約を緩和し保守性を向上できる。また、現実空間に重畳して可視化するNWとリモート環境に再現するNWそれぞれで実施する更新が相互に反映できることが必要である(図4)。このため、本研究調査では、リモート環境に現実空間のアドホックNWを仮想オブジェクトを用いて再現し、再現したNWを現実空間と同様にハンドトラッキングで制御する方法を検討した[7]。

4-2 提案方法

現実空間に仮想オブジェクトを用いて可視化したNWをリモート環境に所望するサイズで再現するため、「緯度経度の位置情報」を基に計算した現実空間のデバイスオブジェクト間の距離をあらかじめ定めた比率(初期値)に従い縮小する。さらに、アドホックNW構成やハンドトラッキングを用いた更新対象や更新内容

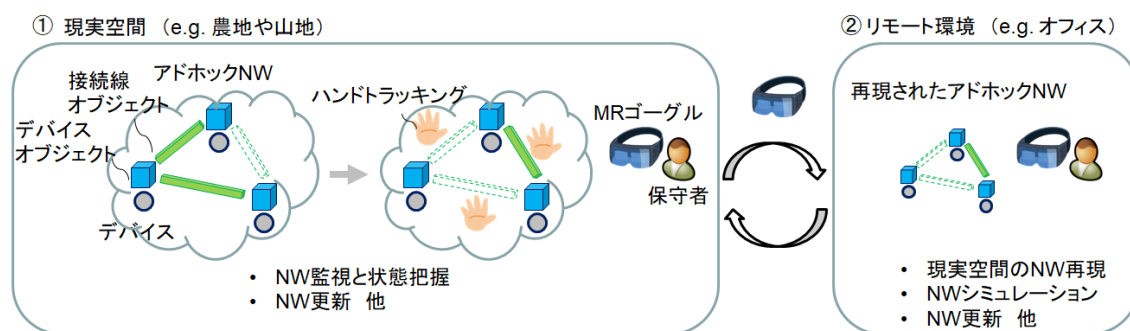


図4 MRを用いたリモート環境におけるアドホックNW管理

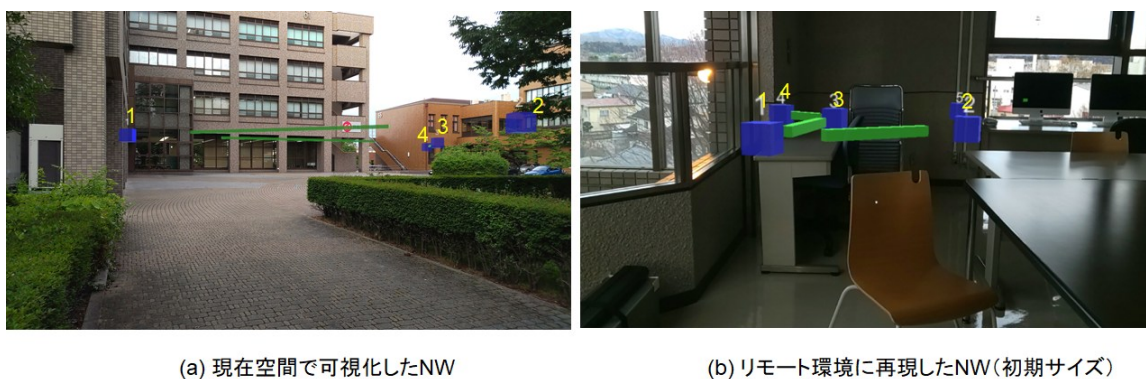


図5 リモート環境におけるアドホックNWの再現

により適切な可視化サイズは異なるため、初期値で可視化されたアドホックNWを保守者が伸縮を示すジェスチャーにより柔軟に変更可能とする。ジェスチャーによりNW全体を等倍率で伸縮する為、全てのデバイスオブジェクトを包含する仮想オブジェクトを「親オブジェクト」として、個々のデバイスオブジェクトを「子オブジェクト」として階層的に設定する。こうして、「親オブジェクト」端部を両手で掴み伸縮することでNW全体のサイズを変更し、連動して「子オブジェクト」のサイズ及びそれらの距離を変更する。

4-3 検証

提案方法を、(1)アドホックNWを仮想オブジェクトを用いてリモート環境で再現、(2)再現したアドホックNWのサイズを伸縮ジェスチャーにより柔軟に変更、(3)再現したNWの接続線オブジェクトをハンドトラッキングで更新、の点から実機検証した。

図5はアドホックNWをMRを用いて可視化した時のHoloLens2からみたNWのスナップショットである。(a)は現実空間で仮想オブジェクトを用いて可視化したアドホックNW、(b)は建物内において初期値(約 1 m^2)に基づくサイズで再現したNWである。また、建物内に再現したNWを伸縮ジェスチャーによりサイズを柔軟に拡大・縮小できること、ハンドトラッキングによりデバイス間接続の更新を現実空間と同様に実施出来ることを確認した。

5 まとめ

MRを用いたアドホックNW管理の保守性の向上を目指して、アドホックNWを仮想オブジェクトを用いて可視化する時の位置精度を向上の点から、デバイス毎に複数種類の表示指標を用意し、MRゴーグルが利用シーンに応じてそれぞれのデバイスに適切な指標を自動的に選択し可視化する方法を提案した。また、オフィス等のリモート環境においてアドホックNWを仮想オブジェクトを用いて所望するサイズで再現するために、可視化するNWのサイズを保守者のジェスチャーにより柔軟に変更する方法を提案した。これらの提案方法を、MRゴーグルとしてHoloLens2を用いて実機検証し、その有効性を確認した。

【参考文献】

- [1] 熊上, 源田, “Mixed Reality によるハンドトラッキングを用いたアドホックネットワーク管理,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J108-B, No.07, Jul. 2025.
- [2] P. Milgram and F. Kishino, “A taxonomy of Mixed Reality visual displays,” IEICE Transactions on Information Systems, vol. E77-D, no.12, pp.1321–1329, Dec. 1994.
- [3] Microsoft, “Hand-tracking,” <https://learn.microsoft.com/en-us/hololens/hololens2-basic-usage>, July 2025.
- [4] Microsoft, “HoloLens2,” <https://learn.microsoft.com/en-us/hololens/hololens2-hardware>, July 2025.
- [5] 源田, 熊上, “MR による複数の表示指標を用いたアドホックネットワークの可視化方法,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-15-25, 2025.
- [6] K. Genda, “Ad-hoc network management using mixed reality hand-tracking manipulation,” International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC), Nov, 2025.
- [7] 大竹, 源田, “Mixed Reality によるアドホックネットワーク可視化サイズの柔軟な縮小方法,” 電気関係学会東北支部連合大会, 2A1-04, 2025.

〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
MR による複数の表示指標を用いたアドホックネットワークの可視化方法	電子情報通信学会ソサイエティ大会	2025 年 9 月
Ad-hoc network management using mixed reality hand-tracking manipulation	International Telecommunication Networks and Applications Conference	2025 年 11 月
Mixed Reality によるアドホックネットワーク可視化サイズの柔軟な縮小方法	電気関係学会東北支部連合大会	2025 年 9 月
複合現実を用いた広域ネットワークのトラヒック経路の可視化及び更新方法	東北地区若手研究者研究発表会	2026 年 3 月