

# 遠隔地間における紙文書授受感覚の再現

## Reproducing the Sense of Exchanging a Paper Document with a Remote Person

大城 健太郎\*<sup>1</sup>  
Kentarō Oshiro

田中 一晶\*<sup>1\*2</sup>  
Kazuaki Tanaka

中西 英之\*<sup>1</sup>  
Hideyuki Nakanishi

\*<sup>1</sup> 大阪大学大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻  
Department of Adaptive Machine Systems, Osaka University

\*<sup>2</sup> 科学技術振興機構 CREST  
CREST, Japan Science and Technology Agency

To share documents with a remote person, method showing documents on display or screen is suggested. In this study, we develop a remote paper document sharing system. This system reproduces movement of a paper in synchronism with the exchanging operation of the remote person. By using this system, we got a suggestion that participant feel the sense of exchanging a paper document with a remote person.

### 1. はじめに

近年、ビデオ会議などの遠隔地間のインタラクションにおいて、複数の表示領域を用いたシステムによって資料共有が行われている。しかしながら、ディスプレイを用いた映像を介した資料共有では、会話相手が遠隔地にいることが強調され、臨場感が低下してしまうことが考えられる。

近年、遠隔地間のインタラクションにおいて、遠隔地の会話相手とあたかも対面しているような感覚を強化することで、臨場感の低下の解決にアプローチしている研究がなされている。この遠隔地の会話相手とあたかも対面しているような感覚の度合いをソーシャルテレプレゼンスと呼ぶ。ユーザの動きに応じたカメラの前後移動によって生じる運動視差[Nakanishi 09]や、会話相手の前後移動に同期してディスプレイが移動することにより、ソーシャルテレプレゼンスが強化されることが分かっている[Nakanishi 11]。遠隔握手ロボットハンド[Nakanishi 14]では、通常のビデオチャットに握手用ロボットハンドを実装することにより、遠隔地間のインタラクションに擬似的な身体接触を付加した。この遠隔握手による擬似的な身体接触の付加がソーシャルテレプレゼンスを強化することが報告されている。

また、ユーザ同士より円滑な共同作業を目的とした資料や書き込みの共有システムが多くの研究で提案されており、卓上型のワークスペースシステム[Tuddenham 09][Tang 10][Genest 13][Morris 10]などが提案されている。ClearBoard[Ishii 92]ではガラスの板を挟んで対話する状況を設定し、そのガラス板を描画面とし、書き込みだけでなく視線や指示を遠隔地間で共有する方法が提案された。Agora[Luff 06]では遠隔地の会話相手の正面映像に加え、机の上に会話相手の机上の映像を上から投影することで、机上を共有領域とし、資料やジェスチャの提示によって、資料の共有・身体動作と資料との結びつきの提示を可能にした。しかしながら、これらのシステムにおいて行われる共有は映像を介したものであり、会話相手が遠隔地にいることを強調してしまう可能性がある。

そこで我々は、遠隔地間における物理的な紙文書の共有システムを提案する。紙文書の受け渡しを再現し、遠隔地間では通常行うことができない物理的なものの共有がおこなわれること

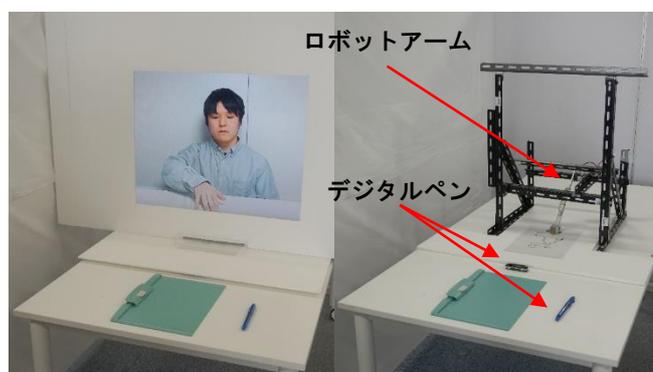


図 1. DocumentTrans による紙文書の受け渡し

で、ソーシャルテレプレゼンスが強化されるのではないかと考えた。本研究では、紙文書の受け渡し行為を再現するシステムとして、受け渡し行為を視覚的に伝えるための会話相手の等身大映像と遠隔地で会話相手の受け渡し動作に同期した紙文書の動きを再現するロボットアームを組み合わせたシステム DocumentTrans を開発した。

### 2. システムの開発

本研究で提案するシステムは、遠隔地の会話相手の等身大映像を提示するディスプレイと、紙文書の受け渡し行為を再現するロボットアームを組み合わせたものである。ロボットアームは、遠隔地の会話相手が紙文書を差し出す・受け取る動作に同期してユーザ側で紙文書を動かし、ディスプレイ下から紙文書を出し入れする仕組みである。ディスプレイによる会話相手の身体動作の提示とその動作に同期した紙の動きにより、紙文書の受け渡しを再現する。また、デジタルペンを用い、リアルタイムでユーザの書き込みを取得し、受け渡し行為前に遠隔地であらかじめ印刷しておくことで、書き込みを行った紙文書の遠隔地間での受け渡しを実現する。今回は、ソーシャルテレプレゼンスの評価が目的であるため、片方向のシステムを構成した。双方向システムの概要を図 2 に示す。

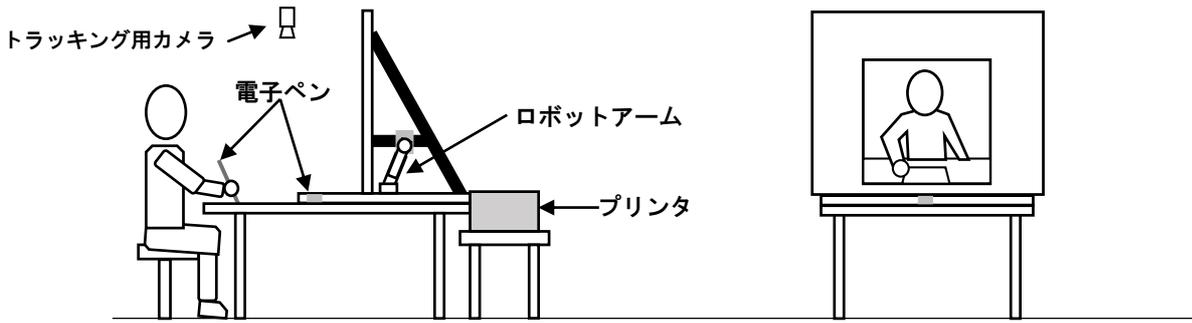


図 2. 双方向システムの装置配置

### 2.1 遠隔地映像

本研究では、遠隔地間での対面会話を想定し、490×600[mm]の領域に42ppiの解像度で遠隔地の映像を表示する。また、紙文書の受け渡し行為が見えるよう、遠隔地の机上を表示する。

### 2.2 紙文書受け渡しロボットアーム

遠隔地間での紙文書授受感覚の再現には、遠隔地の会話相手の受け渡し動作の提示と、その動作に同期した紙文書の動きが必要であると考えた。本研究では、紙文書を机の上で前後に動かす受け渡しを想定し、紙文書を把持し前後の1自由度に動作するロボットアームをディスプレイ裏に設置する。遠隔地の紙文書の位置をカメラにより検出・取得し、それに同期するようにロボットアームを駆動させた。

### 2.3 デジタルペン

書き込みが行われた紙文書の受け渡しを実現するためには、スキャナによる読取は時間がかかってしまい、不適切である。そのため、デジタルペンをいりリアルタイムでユーザの筆跡情報を取得し、受け渡し行為前に遠隔地で印刷しておくことによって書き込みが行われた紙文書をスムーズに受け渡すことを可能にしている。デジタルペンは、発信機であるペン部分と受信機で構成され受信機の有効範囲内での筆跡を取得できる。そこでユーザ側にクリップボードを設置することで、書き込みを行う領域を固定している。受信機は、ユーザの目に映らないよう設置する。

## 3. 実験

開発したシステムを用いて、映像と受け渡し動作に同期した紙文書の動きのソーシャルテレプレゼンスへの影響を調べるため、2つの被験者実験を行った。本研究で提案するシステムは、映像と紙文書の動きによって会話相手の受け渡し動作を提示する。したがって以下の仮説を立てた。

- 仮説1** 遠隔地間での紙文書の受け渡しはソーシャルテレプレゼンスを強化する。
- 仮説2** 被験者が書き込みを行った紙文書の受け渡しはソーシャルテレプレゼンスを強化する。
- 仮説3** 被験者が書き込みを行った紙文書の受け渡しによって、書き込みを行っていない紙文書の受け渡しよりソーシャルテレプレゼンスを強化する。

### 3.1 実験条件

仮説を検証するために、3つの実験を行った。実験1では、紙文書の受け渡しを行わないビデオ会議条件、実験者から被験者へ渡す送り条件、実験者が被験者から受け取る受け条件の3条件を用意した。遠隔地にいる実験者との会話の中で、被験者

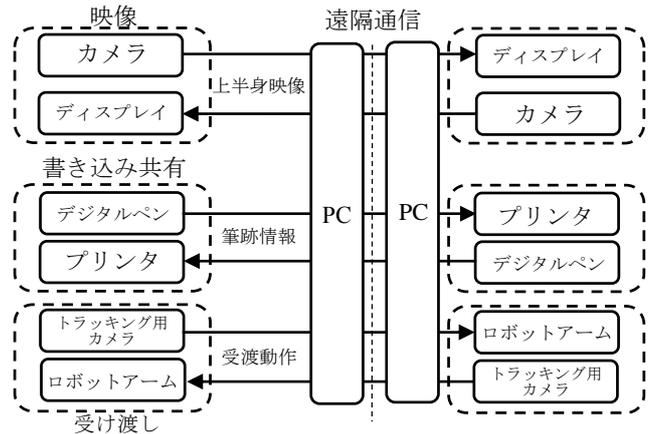


図 3. 双方向システム

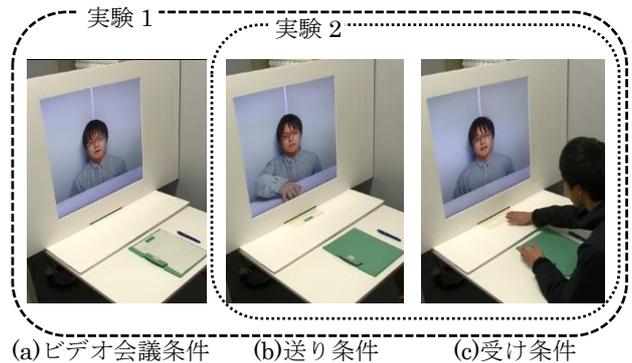


図 4. 実験条件(実験 1 及び 2)



図 5. 実験条件(実験 3)

が紙文書に書き込みを行うタスクを設定し、送り条件では実験者が書き込みを行うための紙を渡し、受け条件では実験者が書き込みを行った紙文書を受け取った。

実験 1 では、条件の設定上送り条件と受け条件の間のタスク内での受け渡し行為のタイミングを合わせることができなかった。そこで実験 2 で送り条件と受け条件の 2 条件を設定し、タイミングを合わせ、実験を行った。

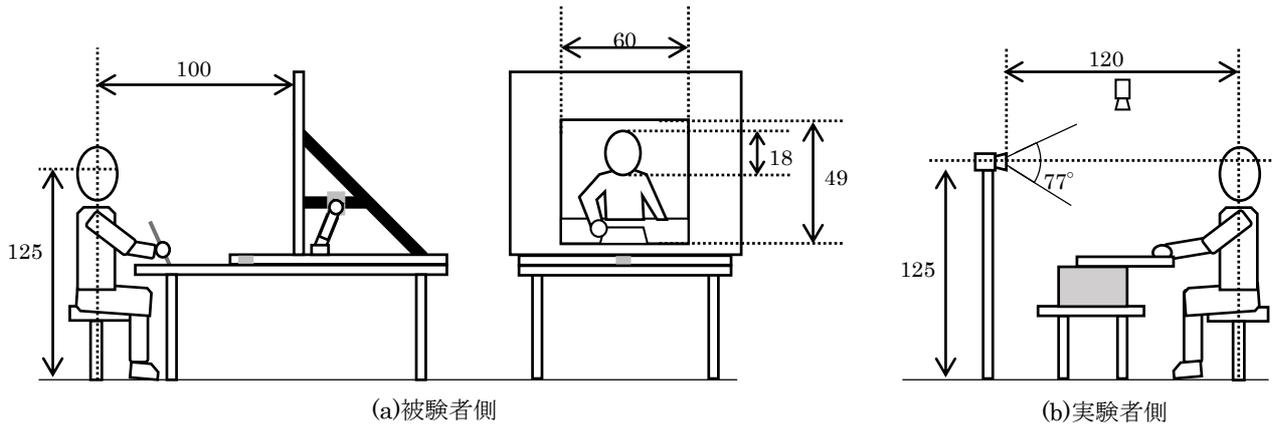


図 6. 実験環境(紙共有条件)[cm]

実験 3 では、紙文書の受け渡しに資料共有の紙共有条件とタッチディスプレイを用いた資料共有の映像共有条件を用いた。紙共有条件での実験環境を図 6 に示す。映像共有条件では、被験者側と実験者側の机の上にタッチディスプレイを設置し、画面共有を行うことで資料と書き込みを共有する。

被験者と実験者共に資料に対する書き込みを行うタスクを設定した。紙共有条件では、実験者が紙への書き込みを行い、被験者にその紙を渡す。被験者にその紙に書き込みを行ってもらい、実験者が受け取り、被験者の書き込みに対してコメントした。映像共有条件では、被験者側と実験者側にあるタッチディスプレイを用いて、実験者が書き込みを行った後、被験者に書き込みを行ってもらい、その書き込みに対してコメントした。

### 3.2 アンケート

実験後被験者には 7 段階のリッカート尺度のアンケートに回答してもらった。全 7 段階を、1:全くあてはまらない、2:あてはまらない、3:ややあてはまらない、4:どちらともいえない、5:ややあてはまる、6:あてはまる、7:非常によくあてはまる、に対応させた。実験 1, 2 のアンケートの項目は以下の通りである。

- 映像は十分きれいだと感じた。
- 音声は十分きれいだと感じた。
- 同じ部屋の中で実際に会話しているように感じた。

実験 3 では、同室感に関する質問を以下のように変更した。

- 同じ部屋の中で実際に会話している感じがした。

また、システムの仕組みがどのようなものであると思ったか自由記述で回答してもらった。

### 3.3 実験結果及び考察

3 つの実験は被験者内実験とした。大学の近くに住む大学生を対象にし、実験 1:8 人、実験 2:8 人、実験 3:7 人の被験者に実験に参加してもらった。図 7, 8, 9, において、箱は平均値を、棒は標準誤差を表す。

実験 1 における 3 条件のアンケートの比較結果を図 7 に示す。映像と音声に関する質問では、差は見られず、それぞれの条件間で映像と音声のクオリティの違いはなかったことが確認できた。実際に同じ部屋の中で会話していると感じたという質問で、ソーシャルテレプレゼンスの度合いについて 1 要因分散分析を行った。実験 1 では、一要因分散分析を行い受け渡しの主効果が有意であった( $F(2,21)=18.12, p<.05$ )。ボンフェローニ補正法を用いて多重比較を行なった結果、ビデオ会議条件と送り条件の間、ビデオ会議条件と受け条件の間で有意差が認められた(ともに  $p<.01$ )。それぞれ、仮説 1、仮説 2 を支持する結果である。実験者の動きと同期して紙文書が動いていることを理由

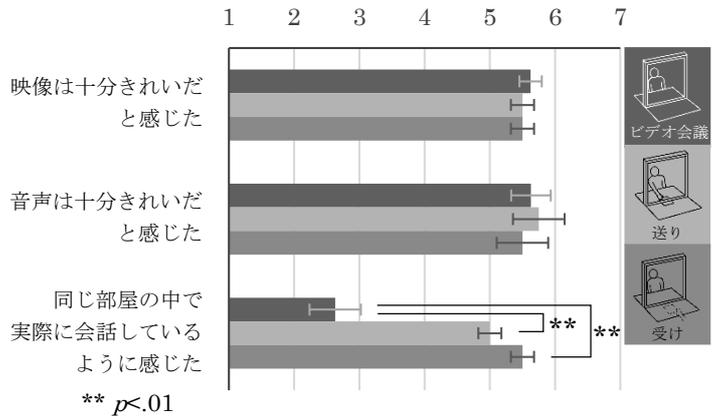


図 7. 実験結果(実験 1)

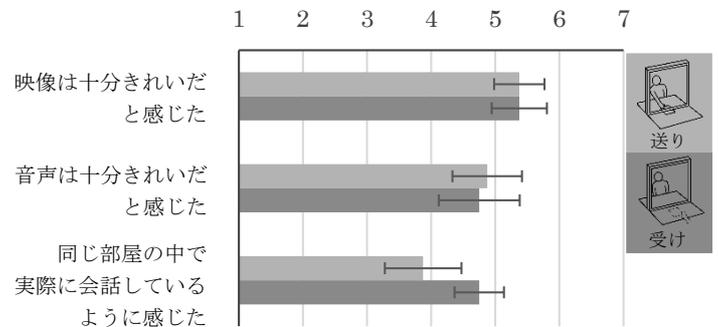


図 8. 実験結果(実験 2)

に送り条件と受け条件で高いスコアをつけた被験者もあり、紙文書を共有オブジェクトとして遠隔地の相手の動作が伝達し、テレプレゼンスを強化したと考えられる。また、紙の受け渡しを物質的な接触と例えた被験者もあり、受け渡しを行うことで紙文書が遠隔地の会話相手の身体性の延長だと感じる人もいたことが分かった。送り条件と受け条件の間では平均の差は見られたが、有意差は認められなかった。被験者が書き込みの共有により受け条件が効果的だと思われたが、明確な効果の差はないといった結果になった。これは、コミュニケーション中の受け渡し行為のタイミングが同じでなかったためだと考えられる。

実験 2 では、同室感に関する質問で平均値の差は見られたものの、平均値の差が統計的に意味のある差かどうか t 検定を行なったところ有意差は認められなかった( $t(7)=1.70, n.s.$ )。実験 2 ではすべての被験者が、システムの仕組みについての自由記述アンケートで、実験者がディスプレイ背面にいると回答した(複数回答あり)。受け条件時にそう思ったと回答した被験者も

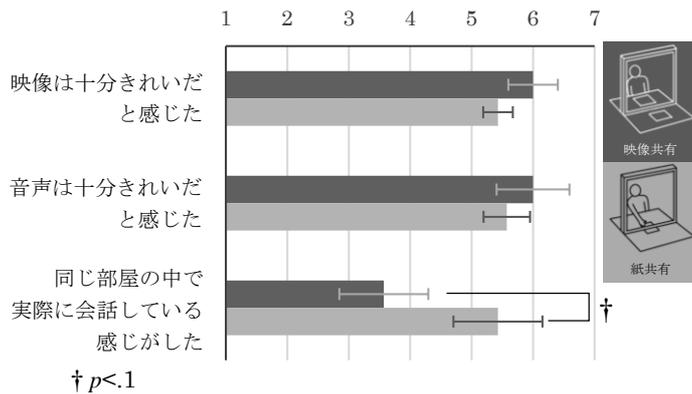


図 9. 実験結果(実験 3)

おり、被験者が書き込みを行った紙文書が受け渡されることで、コピーしたものではなく、同じ紙文書を共有している印象を与え、その結果ディスプレイの背面に実験者がいると回答したと考えられる。

実験 3 における 2 条件のアンケートの比較結果を図 8 に示す。映像と音声に関する質問では、明確な差は見られず、それぞれの条件間で映像と音声のクオリティの違いはなかったことが確認できた。実際に同じ部屋の中で会話しているように感じたという質問で、平均値は映像共有条件で 3.57、紙共有条件で 5.43 となった。この二つの平均値の差が統計手的に意味のある差かどうか t 検定を行なったところ、有意傾向であることが認められ ( $t(6)=2.32, p=.0592$ )、これは仮説 1, 2 を支持している。

スコアに差をつけた理由として、ディスプレイでの資料共有は遠隔地間で行われるイメージを持っていて、会話相手が遠隔地にいることが強調されたと答えた被験者もあり、ディスプレイによる資料共有は同室感を低下させていると考えられる。また、書き込みを行った紙文書の受け渡しを行ったため、ディスプレイによる資料共有より、書き込みを確認された感覚が強いと答えた被験者もあり、非常に興味深い。

紙文書の受け渡しについて、どのような仕組みであったかという質問に関して、実験 2 と同様に、3 人の被験者が会話相手である実験者がディスプレイの裏にあり、実際に紙文書の受け渡しを行っていたのではないかと回答していた。このことから本システムが遠隔地間での紙文書の受け渡し感覚を再現していたと言える。実験者が被験者から紙文書を受け取ったことを理由に、コピーした紙文書でなく同一の紙文書を共有していると思ったという回答もあり、被験者が書き込みを行った紙文書の共有が、紙文書の受け渡しのリアリティに影響していると考えられる。

しかしながら、このようなシステムのメンタルモデルを持っていることにより、映像共有条件でもディスプレイの裏に実験者がいると思われ、同室感に差がなかったと答えた被験者もいた。実験 2 においても同じ理由で、送り条件と受け条件の間に差が生まれなかったのではないかと考えられる。また、システムの仕組みとしてディスプレイの裏にいるというイメージから同室感に関するスコアに影響していることは、この質問でソーシャルテレプレゼンスの度合いを確かめることができない可能性がある。今回行った実験の環境では、被験者がディスプレイの背後に人がいるかもしれないと思わせるような環境であったと考えられる。

以上、本システムにより会話相手の動作と同期した紙の動きによって、紙文書授受感覚を再現でき、ソーシャルテレプレゼンスを強化するという見通しを得ることができた。また、被験者が書

き込みを行った紙文書の共有が、受け渡しのリアリティに影響していることが示唆された。

#### 4. おわりに

本研究では、遠隔地間での資料共有に注目し、遠隔地間で紙文書の受け渡し感覚を再現する DocumentTrans の開発・実験による評価を行った。その結果、会話相手の受け渡し動作に同期した紙の動きにより、紙文書の受け渡し感覚を再現できることを確認した。この遠隔地間での紙文書授受感覚の再現により、ソーシャルテレプレゼンスが強化される見通しが得られたが、ユーザのシステムへのメンタルモデルの影響でソーシャルテレプレゼンスの評価に問題がある可能性が考えられた。今後、実験環境、被験者に対する事前説明の改善を行い、実験を継続する予定である。

#### 謝辞

本研究は、JST CREST「人の存在を伝達する携帯型遠隔操作アンドロイドの研究開発」、基盤研究(B)「ソーシャルテレプレゼンスのためのロボットエンハンストディスプレイ」、SCOPE「遠隔身体インタラクションインタフェースの研究開発」からの支援を受けた。

#### 参考文献

- [Genest 13] Genest, A., Gutwin, A., Tang, A.: KinectArms: a Toolkit for Capturing and Displaying Arm Embodiments in Distributed Tabletop Groupware, Proc. CSCW2013, pp. 157-166, (2013).
- [Ishii 92] Ishii, H. and Kobayashi, M.: ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact, Proc. CHI1992, pp. 525-532, (1992).
- [Luff 06] Luff, P., Heath, C., Kuzuoka, H., Yamazaki, K., and Yamashita, J.: Handling documents and discriminating objects in hybrid spaces, Proc. CHI2006, pp. 561-570, (2006).
- [Morris 10] Morris, M., Fisher, D., Wigdor, D.: Search on surfaces: Exploring the potential of interactive tabletops for collaborative search tasks, Proc. Inf.Process.Manage2010, pp. 703-717, (2010)
- [Nakanishi 09] Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces. Proc. CHI 2009, pp. 433-442, (2009).
- [Nakanishi 11] Nakanishi, H., Kato K., and Ishiguro H.: Zoom Cameras and Movable Displays Enhance Social Telepresence. International Conference on Human Factors in Computing Systems, Proc. CHI2011, pp. 63-72, (2011).
- [Nakanishi 14] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, Proc. CHI 2014, pp. 2143-2152, (2014).
- [Tang 10] Tang, A., Pahud, M., Inkpen, K., Benko, H., Tang, J., Buxton, B.: Three's Company: Understanding Communication Channels in Three-way Distributed Collaboration, Proc. CSCW2010, pp. 271-280, (2010).
- [Tuddenham 09] Tuddenham, P., and Robinson, P.: Territorial coordination and workspace awareness in remote tabletop collaboration, Proc. CHI2009, pp. 2139-2148, (2009)..