

超越型誘導のための仮想都市シミュレータ

Virtual City Simulator for Transcendent Guidance

中西 英之*1
Hideyuki Nakanishi

小泉 智史*2
Satoshi Koizumi

石田 亨*1*2
Toru Ishida

伊藤 英明*1
Hideaki Ito

*1 京都大学情報学研究科社会情報学専攻
Department of Social Informatics, Kyoto University

*2 科学技術振興機構 CREST
Japan Science and Technology Agency CREST

In this paper, we propose a transcendent means of evacuation guidance. Since the announcement facilities of large-scale public spaces such as railway stations cannot provide site-specific information, on-site staffs have to provide location-based guidance tailored to each location. We developed a virtual city simulator that enables site-specific information distribution from a remote place. The simulator integrates data from multiple sensors embedded in the public space. In the virtual city of the simulator, passenger agents walk according to the sensor data. Through this virtual city, off-site staffs can observe the passengers and also guide them. They can talk to anyone by pointing the corresponding passenger agents in the virtual city. We installed this system in Kyoto Station and learned the implications of its use.

1. はじめに

誘導は安全な避難の実現に非常に大きな影響を及ぼす [Klein 1976; Sugiman 1988]. 過去の大きな火災事故をみると、適切な避難誘導が行われなかったことが被害を大きくしたケースが多々ある。我々の日常生活の安全にとって、緊急時における誘導手段の確保は重要である。特に、駅などの多勢が利用する公共空間にとっては非常に重要である。一般的に公共空間における避難誘導は、放送設備と現地の係員によって行われる。放送設備は全体的な誘導を提供する。一方、現地の係員は局所的な誘導を提供する。放送設備は遠隔から多勢の人間に指示を与えることのできる利便性の高い誘導手段である。だが、その場の状況に特化した局所的な指示を与えるのには向いていない。そこで、そのような指示は現地の係員が行うことになる。我々は、このような放送設備の機能的限界を取り払うことを目的とした研究を行った。

我々はまず、「遠隔から多勢の人間に局所的な指示を与える」ための新しいコミュニケーション様式として、「超越型コミュニケーション」を提案する。これは、超越的に多勢の人間がいる空間全体を眺めつつ対話相手を選択する様式である。CSCW や HCI の分野でこれまでに盛んに行われてきた遠隔コミュニケーションの研究は、どれも対面コミュニケーションの再現を目指したものである。例えば、分散した仕事場同士をつなぐメディアスペース [Bly 1993], 分散した座席同士をつなぐテレプレゼンス [Buxton 1992; Ishii 1994], 分散した作業現場同士をつなぐ遠隔作業指示システム [Kuzuoka 1992], などである。このような従来研究に対して、我々の超越型コミュニケーションの研究は、対面環境とは全く異なる様式を提案することになる。

次に、超越型コミュニケーションによる避難誘導、すなわち超越型誘導を可能にするシステムについて述べる。このシステムの特徴は、携帯電話と仮想都市を用いている点である。従来の放送設備では一斉のコミュニケーションしかできない。携帯電話は局所的な個別のコミュニケーションを可能にする。そこで、指示を伝えるための音声チャンネルとして携帯電話を用いた。仮想都市を用いた理由は、指示を与えるべき避難群集の特定を

容易にするためである。通常、指令室には多数の監視カメラ映像が並んでおり、全体の様子を一望するのが困難である。現地の様子リアルタイムでシミュレートされた仮想都市は、任意の視点から広範囲を映し出すことができ、指示対象の特定を容易にする。

最後に、現実の公共空間に適用した例として京都駅における実装について述べる。京都駅は一日の乗降客数が 30 万人以上であり、多勢が利用する公共空間の典型である。我々は京都駅を舞台にプロトタイプングを行い、さらに予備的な使用実験を実施した。

2. 超越型コミュニケーション

遠隔から多勢の人間に局所的な指示を与える場合、一斉放送には無いタスクの実行が要求される。まず、指示者は地点ごとの状況の違いを良く把握する必要がある。過去に我々は避難シミュレーションの学習効果を比較する実験を行った [Nakanishi 2004]. その結果、群集行動全体を観察した後で群集の一人になって仮想体験する方法がもっとも良いことが分かった。この結果から、現地全体を見渡せることは局所的な状況の理解にとっても重要であることが分かる。

次に、指示対象を選択する必要がある。ある局所的な状況にもとづいた指示は、その周辺にいる人々にとってのみ有効である。指示対象を選ぶこと、その対象に有効な指示を与えることを繰り返すことになる。つまり、指示者は遠隔から現地全体を見渡して様子を把握しつつ、その中の特定の集団を選んで指示を与えることを繰り返す。

図 1 は、このようなコミュニケーションの概念図である。この図において、指示者は現地全体を上方から見渡しつつ特定の人々に話しかけている。このような様式を支援する遠隔コミュニケーション支援システムはこれまで皆無である。そこで我々はこれに超越型コミュニケーションと名付け、その支援システムを開発した。

従来の遠隔コミュニケーションの研究は対面環境の再現を目指してきたのに対し、我々は公共空間における避難誘導のための独自様式の確立を目指している。この差異を明確にするために以下において、対面コミュニケーション、遠隔コミュニケーション、超越型コミュニケーション、の三つを二つの側面で比較する。図 2 はこの比較を図示したものである。

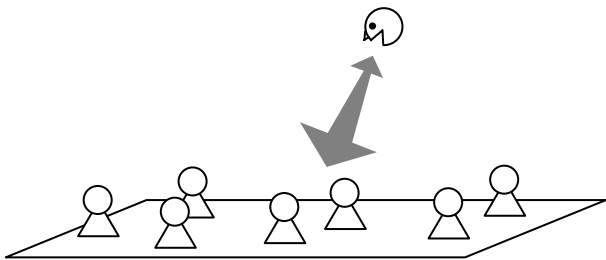


図1. 超越型コミュニケーションの概念図

1. コミュニケーション参加者同士の位置関係

対面コミュニケーションでは全員が地理的に同じ場所にいる。それに対し、遠隔コミュニケーションでは互いに離れた場所にいるのが特徴である。超越型コミュニケーションでも基本的に互いに離れた場所にいる。しかしながら、それはあまり重要な特徴ではない。重要なのは、コミュニケーション参加者が二つの異なる階層に分かれているという点である。それは、空間全体を見渡している超越的参加者の階層と、空間の中にある内在的参加者の階層である。

2. 対話開始のきっかけを伝達するコミュニケーション空間
対面コミュニケーションでは、対人距離やアイコンタクトなどの社会的合図[Okada 1994]が現実空間によって伝達され、対話開始のきっかけとして用いられる。遠隔コミュニケーション支援システムは、対面環境を再現するために、社会的合図を伝達するための仮想空間を提供する。超越型コミュニケーションでは、社会的合図はもはや対話開始のきっかけとはならない。超越的参加者と内在的参加者の間に社会的合図は存在しない。現実空間をリアルタイムでシミュレートする空間が提示する現地の状況に従って、いつどの内在的参加者との対話を開始するかを超越的参加者が決定する。

このように超越型コミュニケーションでは、他者の情報の取得やコミュニケーションの制御において、参加者間に大きな格差が生じる。これまでの遠隔コミュニケーションの研究では、覗き見によるプライバシーの侵害や、唐突にコミュニケーションチャンネルが開くことによる侵入的感覚の回避が大きな課題であった[Borning 1991; Tang 1994]。超越型コミュニケーションでは、これらのうちどちらにも回避されていない。超越的参加者は、内在的参加者のプライバシーを侵害し、唐突に話しかけることができる。このような特権的能力は回避の対象ではなく、逆に、遠隔から多勢の人間に局所的な指示を与えるために必要な能力となっている。

超越型コミュニケーションは、対面コミュニケーションの再現ではなく、現実空間の状況、すなわち実世界コンテキストにもとづいたコミュニケーションである。近年の無線通信技術やセンサー技術の発達と普及が、そのようなコミュニケーションに必要なPUI (Perceptual User Interface) [Pentland 2000]の実現可能性を高めている。実世界コンテキストにもとづいたコミュニケーションは、ユビキタスコンピューティング(UbiComp)の分野や複合現実感(MR)の分野でも探究されている。それらの研究は、

対面コミュニケーションの拡張を目指すものである。一方、我々の研究は、拡張ではなく再設計を目指すものである。この違いを以下に述べる。

Context-aware communication [Nagel 2001]では、実世界コンテキストをコミュニケーション支援システムが利用する。対話相手の状況に合わせて、マイクやスピーカなどのデバイスをどのように選択しどのように作動させるのかを決定するのに用いられる。対話相手の指定は名前を呼ぶことで行われる。超越型コミュニケーションでは、システムではなく超越的参加者が実世界コンテキストを利用する。実世界コンテキストが画面上に可視化され、それにもとづいて対話相手を決定する。

Social MR [Brown 2003; Flintham 2003]では、可視化された実世界コンテキストが対人距離のメタファを持ち込むのに用いられる。デスクトップユーザとモバイルユーザは互いの位置を画面上の仮想都市空間で確認でき、あたかも同じ複合現実空間の中にいる感覚を得る。超越型コミュニケーションでは、可視化された実世界コンテキストが超越的視点を与えるのに用いられる。デスクトップユーザである超越的参加者は、モバイルユーザである内在的参加者が存在する現実空間の状況を、仮想都市空間を通して一望できる。

3. 超越型誘導システム

超越型誘導には、避難群集のいる現実空間を遠隔の指令室などから一望でき、この視界を通して局所的指示を与える対象を直接的に選択できるシステムが必要となる。この条件を満たす超越型誘導システムを、これまで我々が開発してきた仮想都市シミュレータ FreeWalk を拡張して開発した。図3は、超越型誘導システムを使用して地下鉄のプラットフォームにいる人々に指示を与えている様子である。大型タッチスクリーンの前に立っているのは超越的参加者である誘導者である。駅の指令室にいる係員などを想定している。大型スクリーンには、FreeWalkが描画する仮想的なプラットフォーム空間が表示されている。そしてその仮想都市空間の中では、多数の人体モデルが歩いている。これらの人体モデルは、実際にプラットフォームにいる人々の実世界コンテキストを反映している。このように、誘導者は現実空間の状況を把握できる。

現実空間に埋め込まれたセンサーから得られる実世界コンテキストには常にノイズが含まれる。そこで、FreeWalkにはセンサー情報を補完するための、物理的および社会的なシミュレーション機能が備わっている。社会的なシミュレーション機能は、シナリオ記述言語 Q [Ishida 2002]で記述される行動規則によって実現される。記述可能な行動規則の例としては、周囲の人々との距離や歩調を合わせる[Reynolds 1987]、輪になって話す[Kendon 1990]、などである。物理的なシミュレーション機能は、他者や壁との衝突回避を行うための歩行者モデル[Okazaki 1993]と、動力学と運動学にもとづく歩行モデル[Tsutsuguchi 2000]からなる。FreeWalkはVRMLデータを都市空間の可視化のためだけではなく、このような物理的シミュ

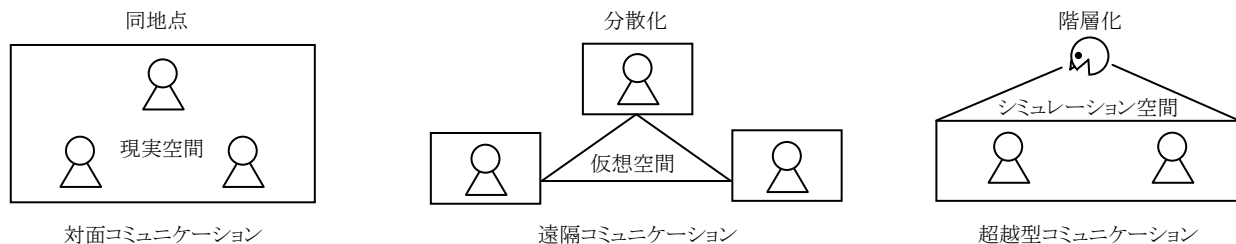


図2. 対面・遠隔・超越型コミュニケーションの比較



図3. 超越型誘導システム

レーションのための幾何モデルとしても用いることができる。

図 3 で、誘導者は人体モデルを指差している。指差しをタッチスクリーンが検知すると、誘導者のマイクが人体モデルに該当する現実の避難者の携帯電話につながるようになっている。携帯電話と FreeWalk の接続には音声応答ボードを用いている。人体モデルと電話番号の対応は、無線 IC タグや光学マーカなどの ID 取得手段によってあらかじめ分かっているものとする。このように、指差しによる直接的な指示対象の選択が、画面に映し出される仮想都市空間上で行えるようになっている。指差しの代わりにドラッグを用いたり、人体の代わりに一定範囲を指定したりするようになれば、複数の避難者を同時に指定することが可能になる。誘導者のマイクを任意の避難群集の携帯電話と同時に繋ぐことが可能である。

図 4 は、アイトラッキングデバイスを用いて図 1 の概念図により近いコミュニケーションを可能にしたものである。誘導者の視線が当たっている避難者の携帯電話と誘導者のマイクがつながるようになっている。誘導者はただ眺めるだけで指示が出せる。タッチスクリーンに比べ、指示対象の切り替えが素早くできる点で有利である。一方、タッチスクリーンでは腕という二つのポイントングデバイスが使えるのに対し、視線は一つのデバイスであるので不利である。また、指示範囲を指定する場合は人体モデルではなく何も無い所を眺めることになり、そのような視線の制御は困難であるという問題もある[Jacob 1990]。このように二つの間の優劣は明確ではない。



図4. アイトラッキングデバイスを用いたシステム

4. 京都駅における実装

超越型誘導システムをある公共空間に実装するには、二つの作業が必要となる。一つは、公共空間の VRML モデルを作成して、仮想都市空間の可視化を可能にすることである。我々は京都駅の VRML モデルを、図面から起こした単純な幾何モデルにデジタルカメラで撮影した写真を貼りつけて作成した。この方法によって作成コストを低く抑えることができ、同時に衝突判定の計算コストも低く抑えることができた。

もう一つの作業は、公共空間に埋め込まれたセンサー群と FreeWalk をつないで、実世界コンテキストの取得を可能にすることである。我々は、FreeWalk と京都駅に設置された 28 台の視覚センサー[Nakanishi 2004]をつないだ。この視覚センサーは、図 5(a) を見ると分かる通り、CCD カメラと特殊な形状の反射鏡から構成されている[Nakamura 2002]。この反射鏡は、公共空間全体を視覚センサーによって安価に覆うのに有効な役割を果たしている。一つのカメラの画角を広げれば、少ない数のカメラで公共空間全体を覆うことができる。しかし、通常のカメラで画角を広げると画像が歪曲してしまう。我々の視覚センサーは特殊な反射鏡を備えることで、図 5(b) に示すように、この歪みを回避している。具体的には、カメラの光軸に直交する平面を透視投影で撮影できるよう反射鏡が設計されている。図 5(c) は、図 5(b) の画像から背景差分等の手法を用いて群集の位置を検出し、FreeWalk 上に可視化した結果である。京都駅のような屋内の公共空間では GPS が使用できないため、視覚センサーのような何らかの代替手段が必要となる。

現状の実装は十分ではなく、まだ多くの課題が残っている。まず、避難者の携帯電話の番号を自動的に取得する機能が入っていない。また、視覚センサーの位置検出能力が、FreeWalk のシミュレーション機能で補完できるようなレベルにも達しておらず、まだまだ実用的ではない。このような実装レベルで実験を行うために、手動による番号登録や手動による位置

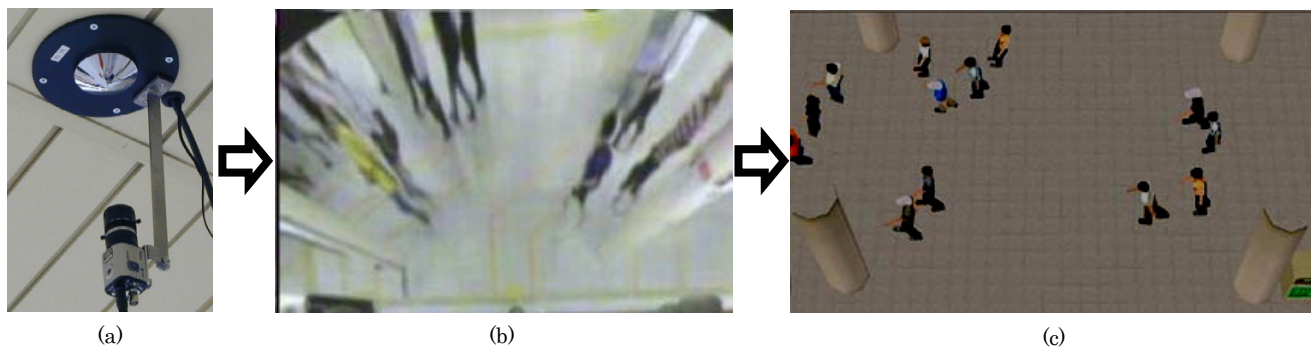


図5. 視覚センサーによる実世界コンテキストの取得

の追跡といった Wizard of Oz 法を適宜用いている。

これまでに行った予備的な使用実験で、誘導者は客観的な誘導とともに避難者の主観的な視点からの誘導も行うことが分かった。客観的な誘導とは、目的地点を「階段」のようなランドマークで指定する方法である。主観的な誘導とは、「そのまま前へ」や「後へ」といった相対的な方向指定である。このようなコミュニケーションの分析が目的であれば、現実空間にいる歩行者ではなく仮想都市空間の中のアバターを誘導する実験で事足りるかもしれない。現在は、そのような仮想実験の手法のテストを行っているところである。

5. おわりに

公共空間の安全性向上にむけて、遠隔にいる係員が現地にいる多勢の訪問者に局所的な指示を与えることのできるシステムを我々は開発した。このようなこれまでに無いコミュニケーション様式を超越型コミュニケーションとして提案した。そして、超越型コミュニケーションによる避難誘導を行うためのユーザインタフェースとして仮想都市シミュレータが有効であることを示した。屋内公共空間の実装例として、京都駅の視覚センサーと仮想都市シミュレータをつないだ事例を紹介した。

超越的参加者である誘導者は、通常の係員による内在型の誘導とは異なる独自の誘導法を用いることになる。今後、そのような誘導法の検討を行っていく必要がある。また、そのような誘導法の分析結果に合わせて、ユーザインタフェースである仮想都市シミュレータの設計も見直していく必要がある。このような実験と設計のサイクルを仮想都市空間の中で行うことを目指した研究も行っていく予定である。

謝辞

日頃よりお世話になっている京都市交通局、京都市総合企画局情報化推進室に感謝致します。

参考文献

- [Klein 1976] Klein, A.L. Changes in Leadership Appraisal as a Function of the Stress of a Simulated Panic Situation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 34(6), (1976), 1143-1154.
- [Sugiman 1988] Sugiman, T. and Misumi, J. Development of a New Evacuation Method for Emergencies: Control of Collective Behavior by Emergent Small Groups. *Journal of Applied Psychology*, 73(1), (1988), 3-10.
- [Nakanishi 2004] Nakanishi, H., Koizumi, S., Ishida, T. and Ito, H. Transcendent Communication: Location-Based Guidance for Large-Scale Public Spaces. CHI2004, (2004) (to appear).
- [Bly 1993] Bly, S.A., Harrison, S.R. and Irwin, S. Media Spaces: Bringing People Together in a Video, Audio, and Computing Environment CACM, 36(1), (1993), 28-47.
- [Buxton 1992] Buxton, W. Telepresence: Integrating Shared Task and Person Spaces. *Graphics Interface* 92, (1992), 123-129.
- [Ishii 1994] Ishii, H., Kobayashi, M. and Arita, K. Iterative Design of Seamless Collaboration Media, CACM, 37(8), (1994), 83-97.
- [Kuzuoka 1992] Kuzuoka H. Spatial Workspace Collaboration: a SharedView Video Support System

- for Remote Collaboration Capability. CHI92, (1992), 533-540.
- [Okada 1994] Okada, K., Maeda, F., Ichikawa, Y. and Matsushita, Y. Multiparty Videoconferencing at Virtual Social Distance: MAJIC Design. CSCW94, (1994), 385-393.
- [Borning 1991] Borning, A. and Travers, M. Two Approaches to Casual Interaction over Computer and Video Networks. CHI91, (1991), 13-19.
- [Tang 1994] Tang, J.C. and Rua, M. Montage: Providing Teleproximity for Distributed Groups. CHI94, (1994), 37-43.
- [Pentland 2000] Pentland, A. Perceptual Intelligence. CACM, 43(3), (2000), 35-44.
- [Nagel 2001] Nagel, K., Kidd, C.D., O'Connell, T., Dey, A.K. and Abowd, G.D. The Family Intercom: Developing a Context-Aware Audio Communication System. UbiComp2001, (2001), 176-183.
- [Brown 2003] Brown, B., MacColl, I., Chalmers, M., Galani, A., Randell, C. and Steed, A. Lessons From The Lighthouse: Collaboration In A Shared Mixed Reality System. CHI2003, (2003), 577-584.
- [Flintham 2003] Flintham, M., Anastasi, R., Benford, S., Hemmings T., Crabtree, A., Greenhalgh, C., Rodden, T., Tandavanitj, N., Adams, M. and Row-Farr, Ju. Where On-Line Meets On-The-Streets: Experiences With Mobile Mixed Reality Games. CHI2003, (2003), 569-576.
- [Ishida 2002] Ishida, T. *Q*: A Scenario Description Language for Interactive Agents. *IEEE Computer*, 35(11), (2002), 54-59.
- [Reynolds 1987] Reynolds, C.W. Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. SIGGRAPH87, (1987), 25-34.
- [Kendon 1990] Kendon, A. Spatial Organization in Social Encounters: the F-formation System. A. Kendon, Ed., *Conducting Interaction: Patterns of Behavior in Focused Encounters*, Cambridge University Press, (1990), 209-237.
- [Okazaki 1993] Okazaki, S. and Matsushita, S. A Study of Simulation Model for Pedestrian Movement with Evacuation and Queuing. *International Conference on Engineering for Crowd Safety*, (1993), 271-280.
- [Tsutsuguchi 2000] Tsutsuguchi, K., Shimada, S., Suenaga, Y., Sonehara, N. and Ohtsuka, S. Human Walking Animation based on Foot Reaction Force in the Three-dimensional Virtual World. *Journal of Visualization and Computer Animation*, 11(1), (2000), 3-16.
- [Jacob 1990] Jacob, R.J.K. What You Look at is What You Get: Eye Movement-Based Interaction Techniques. CHI90, (1990), 11-18.
- [Nakamura 2002] Nakamura, T. and Ishiguro, H. Automatic 2D Map Construction using a Special Catadioptric Sensor. *IEEE/RSJ IROS2002*, (2002), 196-201.