

リアルタイム3次元視覚化による 位置および活動情報の遠隔モニタリング



企業レポート

Salvador Barrera Aldana^{*}, Keiji YAMADA^{**}, Kazuo KUNIEDA^{***},
Hideki KAWAI^{****}, Takao SHIME^{*****}, Yuki KAMIYA^{*****}

Remote Context Monitoring of Actions and Behaviors in
a Location Through the Usage of 3D Visualization in
Real-Time

Key Words : 3D, Visualization, Remote, Monitoring, Panda3D, Real-Time, LifeLog

要約

本稿では、オフィスにおける従業員の位置およびライフログ環境にある従業員の日常業務に関する多様な活動状況を遠隔からモニタリングする手法として、センサーからのライフログデータをリアルタイムに3次元の仮想空間上に視覚化するシステムについて述べる。本システムの特徴は、入力として大量の



^{*} Salvador Barrera Aldana

1968年10月生
卒業校：東京工業大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻 東京工業大学博士(工学)(2005年)
現在所属：モンテレイ大学教授、大阪大学非常勤講師 カーネギーメロン大学 ETC 日本校プログラム・ディレクター
TEL : 06-6569-1911
FAX : 06-6569-1917
E-mail : SBARRER1@UDEM.EDU.MX
web: www.salvadorbarrera.com.mx



^{****} Hideki KAWAI

1974年3月生
卒業校：慶応義塾大学理工学研究科計測工学専攻(1998年)
現在所属：NEC、C&Cイノベーション研究所
TEL : 0743-72-3684
FAX : 0743-72-3679
E-mail : h-kawai@ab.jp.nec.com



^{**} Keiji YAMADA

1958年7月生
卒業校：京都大学大学院工学研究科情報工学専攻京都大学博士(工学)(1987年)
現在所属：NEC、C&Cイノベーション研究所 研究所長
TEL : 0743-72-3033
FAX : 0743-72-3679
E-mail : kg-yamada@cp.jp.nec.com



^{*****} Takao SHIME

1981年8月生
卒業校：京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻(2007年)
現在所属：NEC、C&Cイノベーション研究所
TEL : 0743-72-3738
FAX : 0743-72-3679
E-mail : t-shime@ce.jp.nec.com



^{***} Kazuo KUNIEDA

1964年5月生
卒業校：京都大学大学院工学研究科情報工学専攻博士後期課程単位取得認定退学(1992年)
京都大学博士(工学)(1995年)
現在所属：NEC、C&Cイノベーション研究所 研究部長
TEL : 0743-72-3529
FAX : 0743-72-3679
E-mail : k-kunieda@ak.jp.nec.com



^{*****} Yuki KAMIYA

1980年5月生
卒業校：東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻
東京工業大学博士(工学)(2008年)
現在：NEC、C&Cイノベーション研究所
TEL : 0743-72-3752
FAX : 0743-72-3679
E-mail : y-kamiya@fn.jp.nec.com

センサーデータをリアルタイムに処理し、オフィス内で発生する様々な事象を瞬時に把握できるように3次元の仮想空間に仮想化して出力することである。

キーワード：3次元、視覚化、遠隔、監視、Panda3D、ライフログ

メンバー

カーネギーメロン大学エンターテイメント・テクノロジー・センター (ETC)

John Conomikes, Zachary Pacheco

モンテレイ大学

Juan Antonio Cantu, Lucy Beatrix Gomez, Christian de los Reyes,

Juan Manuel Mendez Villarreal

1. 序論

本システムは、日本電気株式会社 (NEC)、モンテレイ大学、およびカーネギーメロン大学エンターテイメント・テクノロジー・センター (ETC) の共同研究として、5ヶ月間にわたるプロジェクトを通じて開発された。

本プロジェクトの目標は、個人では把握できない程度の大量のセンサーデータを、理解しやすく可視化することである。そのため、3D レンダリングエンジン Panda3D を使用して、センサーが検出した事象を3次元映像でインタラクティブに再現表示する。

この分野には多くの従来研究が存在するが、本プロジェクトではセンサーデータを3次元空間上に再現する点が特徴である。このデータは、NEC のライフログシステムによって生成されており、ライフログ環境にある従業員の日常業務に関する多様な活動状態を秒単位で追跡することができる。また、遠隔からのデータのモニタリングが可能である。具体的なライフログデータとしては、従業員の位置情報、ビデオカメラ、PC の操作履歴、e-mail 履歴などが挙げられる。

2. 関連研究

データ視覚化に関する先行研究の例として、遠隔地の高エネルギー加速器の状態を3次元モデルの上に表示するシステムが挙げられる [5]。このような研

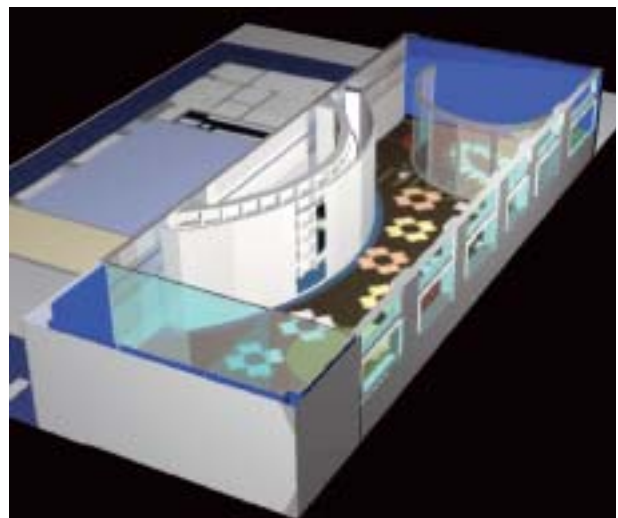


図1．初期段階のオフィス3次元モデル

究は、ある側面では我々のシステムと類似している。しかし、我々の関心は温度のようなデータの単なる集計ではなく、データが意味する事象や人間の活動状態を忠実に再現することである。例えば、誰と誰が良くコミュニケーションしているか、オフィスのどの場所で活発な討議が行われているか、会議に使われた資料がどのような状況で作成されたかなどを、可視化によって把握し、追跡調査できるようにすることを目標としている。

また、先行研究と提案システムの大きな相違点は、監視者が一方的にビデオ画面を監視し続ける [8] のではなく、観察対象者でもあるオフィスにおける従業員自身がいつでも自分自身のライフログデータをリアルタイムにチェックし、オフィス内の活動状況

を把握し、改善活動に利用できるようにした点である。

また、多くの現行の遠隔監視システムは一種類のデータを対象としているが [3][4]、我々のシステムは、ビデオ画像に加え、音声、赤外線センサー、RFID 等多種のデータを処理し、それらを統合して表示するという方法を採用している。

また、ローエンドなシステムでの利用を想定した従来研究もある [5] が、本研究では、情報を忠実に再現するためにハイエンドなシステムを想定して設計されている。

3. 可視化方法

本研究の目標であるオフィス内の活動状況の可視化のためには、リアルタイムでセンサーからのデータを管理する必要がある。

3次元表示する各フレームに対してそれぞれ毎秒数百ファイルもの大量のデータを解析する必要があるため、全データを秒単位で解析して表示するよりも、データを部分的に解析し、映像を順次更新する方法を採用した。映像をスムーズに表示するためには、毎秒 20 フレームの速度で映像を更新する必要がある。そのため、1 フレーム当りに解析に割ける時間は 50 ミリ秒からさらに、3次元表示に必要な時間を差し引いた時間のみである。

センサーのデータ更新速度が最大で一秒間に一回程度であれば、本システムは、フレーム速度を犠牲にすることなくリアルタイムにデータを表示できる。当初はスレッド処理により問題が解決できると思われたが、三次元レンダリングエンジン (Panda3D) はスレッド使用上の制限があったため不可能だった。

表示速度向上のための別のアプローチとして、三次元モデルに使われているポリゴン数の削減を行った。当初の 3D モデルでは、大量のポリゴンを使用していたために、システムはデータ解析よりも、モデルのレンダリングに時間を消費していた。特に、照明を考慮してポリゴンを表示する際の時間消費量は顕

著だった。しかし、高い忠実度に重点を置いていたため、モデルの姿を著しく変更することなく、多角形の数減少しなけりばならなかった。主な方針として、普通に表示する過程においては見えない小さなポリゴン、またオブジェクトの下面となりユーザから見えないポリゴンを削減した。

実際に削減されたポリゴン数を表 1 に示す。削減前は一秒間に 5 から 10 フレームしか表示できなかったが、削減後 1 秒間に 20 フレーム表示可能となり、顕著な性能向上を示した。

Model	Before	After
box1	745	745
chair1	1419	1419
chair2	4016	1318
lamp1	640	640
table1	4202	1552
table3	1374	1374
table4	166	166
table5	16064	1260
table6	360	360
YellowSit	1700	1700
BentDesk	574	574
CircCouch	2159	1200

表 1. 多角形の数量変更に関する表。
変更したモデルは白色で表示されている

可視化における、もう一つの課題としてユーザ・インターフェースが挙げられる。これは、コンピューターの知識レベルの高いユーザがこのシステムを使用するとは限らず、分析しなければならないデータが大量に存在するからである。

ユーザが必要に応じて自由にデータを表示したり、隠したりすることができる利便性と使いやすさ (Office 2007 仕様のタブを使用したボタンに似ている。) を追求した最終の設計図に決定するまで、異なる様々な設計図を試行錯誤した。図 2 はオフィスにおける従業員の位置およびライフログ環境にある従業員の活動状況を表示する初期のユーザ・インターフェース設計図の一例である。図 2 では、選択された従業

員グループが行ったPC操作の量(キータイプやマウスクリックの数など)などが時系列グラフとして表示されている。図3はその最終版のユーザ・インターフェースである。図3では、3次元の仮想空間上にオフィスを再現しており、アバターにより従業員の位置を表示し、画面上の丸い点の大きさによって各場所での音量を表示している。また、カメラアイコンをクリックすることでビデオ画像が再生され、アバターをクリックすることでその従業員のPC操作の量や操作されたファイルなどの詳細情報が表示されるようになっている。



図2．初期のユーザ・インターフェース



図3．最終版のユーザ・インターフェース

現実のオフィスの仮想空間上への忠実な再現も我々の課題の一つである。図4は、モデル再現にあたり、いかに高度な正確性が追求されたか、また現実同様に表示するためいかに高い忠実度の画像に重点を置いたかを表している。

これらの3次元モデルを使った可視化により、ユー



図4．現実(左)と仮想表現(右)の比較

ザの観察可能な視点が大幅に広がった。従来、2次元の可視化システムでは、ユーザはオフィス内のセンサーデータの情報を真上からの視点でしか観察することができない(図5参照)。しかし、3次元システムでは、ユーザは視点を制限されることなく自由に見たい方向からデータを観察することができる。例えば、移動中の従業員の視点を追跡することも可能である。また、本プロジェクトの重要課題である、より現実的な状況を観察することを可能にし、よりスムーズに編集する環境を提供した。更に、一度に多様な状況を観察できることを実現したのである。



図5．従来の2次元表示で背景として使用されたテクスチャ

4. ライフログ環境

本節では、NECのライフログ環境について説明する。本ライフログ環境には、位置情報を取得するための赤外線センサー、音声を記録するためのマイク、従業員の振る舞いを記録するためのビデオカメラ、e-

mail や PC の操作履歴を取得するプログラム、従業員がひらめいた瞬間を記録するひらめきボタン、備品の位置情報を管理する RFID センサーが含まれている。従業員は、良いアイデアがひらめいたらボタンを押すように指導を受けており、ボタンは、従業員がひらめいたタイミングを記録し、その時点での状況を分析することに利用する。

図6はセンサーを設置した天井の例である。図6では、蛍光灯の部分に赤外線による位置情報発信機が設置されている。発信機が出す位置情報 ID は、個別の従業員が身につけている赤外線受信機により受信され、個人の位置情報を追跡することができる。受信機が位置情報 ID を示す赤外線を受信しなかった場合は、エラーコードを出力する。出力された位置情報データのうち、エラーコードの占める割合は25%であった。

図6で、天井から突き出ているペン状の黒い棒はマイクである。本ライフログ環境には90本のマイクが設置されており、各マイクの周囲の音声データを集積している。



図6．天井に設置されたセンサー類

また、天井には図7に示すようなビデオカメラが約30台設置されており、毎秒10フレームのレートで従業員の振る舞いを記録している。



図7．天井に設置されたカメラの拡大図

ライフログ環境下の従業員の送受信したEメールはFrom, To, サイズが記録される。しかし、ライフログ環境の外部に存在する受信者のアドレスは「社員」や「社外受信者」と抽象化した状態で記録される。

更に、ライフログ環境下では、従業員のコンピューターの操作ログも蓄積されている。具体的には、キー操作、マウスクリック、マウス操作の量が集計され、起動したアプリケーション名や利用したファイル名も記録される。従業員が認知しないバックグラウンドのプロセスも追跡できる。また、従業員のインターネットの閲覧状況も記録される。

最後に、各従業員はワイヤレスのボタンを所持しており、ボタンの押下タイミングと押された時間の長さが無線LAN経由でサーバーに記録される。このボタンは、従業員がひらめいた瞬間に、自己申告で押下するよう運用されている。

人の行動に関連するセンサー以外では、16台のRFIDリーダーを、オフィス内の備品（例えば本、コンピューター等）の位置を追跡するために利用している。これにより、従業員が使用した個々の備品とその位置が記録される。

センサーデータの流れはシンプルに設計している。ライフログシステムは各種センサーから最新の情報を常時ポーリングする。データが発生すると、日時を記録し、YAML[11]形式に出力してサーバーに保存する。YAML（ヤムル）とは、構造化データやオブジェクトを文字列に直列化するためのデータ形式の一種である[11]。可視化プログラムは、ユーザーが観察したい日時を表示するためのファイルをサーバーからメモリへ読み込み、オフィス内の従業員の位置や活動状態を可視化する。

5. 応用領域

本研究が大きなインパクトを持つアプリケーション領域としては、多様な遠隔地の監視システムなどが挙げられる。また、監視技術の改良によって、図8に示すような公共スペースの監視システム[1]にも適用可能である。



図8．提案システムの適用可能性がある監視システムの例 [1]



図9．提案システムにより、典型的な監視スクリーンの壁を回避できる [2]

新しい適用領域の例としては、この監視システムを利用することにより、経営者は遠隔地においても効率的にオフィス管理を行うことが挙げられる。彼らは、何千キロメートルと離れた場所からでもオフィスで行われる日常活動をこのシステムを利用して、より詳細に把握することができる。

また、重要な応用例としてセキュリティ分野への適用が挙げられる。提案システムにより、警備員は、モニター画面を凝視し続けることなく常に指定地域

を監視することができる。これにより事件を早期に発見することができ、警備の安全性を増進することができる。

6. 性能評価

最新データをリアルタイムで可視化できることを確認した。また、ユーザが任意の時間を自由に再現できるようにするために、システム起動時に1時間程度の時間範囲のセンサーデータを全てメモリに読み込んでから可視化を行うようにした。

システム性能評価の結果、従業員の活動約1時間分のセンサーデータを読み込む時間は約1分であった。システムの構造上、明確な数字は表示できないが、通常の就労時間中に従業員1人当たり1日で数百MBものデータが蓄積されている。システム起動に時間はかかってしまうが、一旦、データが読み込まれた後は、そのデータの範囲内であれば、どの時間でも瞬時に再現することができる。

7. 今後の課題

本研究では、オフィス内でのライフログデータを取得するために位置情報やひらめきボタン等の各種センサーを持ち歩く必要がある。これは、将来の研究で、技術面またソフト面における更なる改良の余地があることを示している。

8. 結論

本稿では、オフィスにおける従業員の位置および活動状況を遠隔からモニタリングする手法として、センサーからのライフログデータをリアルタイムに三次元の仮想空間上に視覚化するシステムについて述べた。本システムの特徴は、大量のセンサーデータをリアルタイムに処理し、オフィス内で発生する様々な事象を瞬時に把握できるように可視化することである。商品化はまだであるが、ソフトウェアの更なる改良や、他の研究を包括することによって将来有望な技術となると考えられる。

引用文献

- [1] Image Reference,
<http://www.videosafe.net/Imagenes/products/PantallaVVivoMultisiteSupervisorVS.jpg>
- [2] Image Reference,
<http://cache2.asset-cache.net/xc/BD6422-001.jpg?v=1&c=IWSAsset&k=2&d=F5B5107058D53DF59E7532D0A8D468842AEBB0F06CEA9D3D17048042DA450F05E30A760B0D811297>
- [3] P. Debevec, C. J. Taylor, J. Malik. " Modeling and rendering architecture from photographs: A hybrid geometry and image- based approach. " SIGGRAPH 96, pp. 11 - 20.
- [4] S.-K. Ueng and S.-C. Wang, " Interpolation and visualization for advected scalar fields, " IEEE Visualization, 2005, p. 78.
- [5] M. Emoto, M. Shoji, S. Suzuki, S. Yamaguchi, R. Muratsu, J. Narlo, M. Tamura, Y. Tanahashi, Y. Teramachi, J. Kariya, H. Okumura : THE INTERACTIVE DATA VISUALIZATION WITH Java 3D:
<http://conference.kek.jp/PCaPAC99/cdrom/paper/poster/p13.pdf>
- [6] Kaufman (2000). Photogrammetry using 3D graphics and projective textures. IAPRS 2000, Vol. 33. Stauffer, C., W.E.L. Grimson (1999). Adaptive background mixture models
- [7] Harville, M., G. Gordon, J. Woodfill (2001). Foreground Segmentation using Adaptive Mixture Models in Color and Depth. Proceedings of the IEEE Workshop on Detection and Recognition of Events in Video. July 2001.
- [8] Segal, M., C. Korobkin, R. Van Widenfelt, J. Foran, and P. Haeberli (1992). Fast shadows and lighting effects using texture mapping. SIGGRAPH '92. pp. 249 - 252. Spann J.R., K.S.
- [9] Yasuo Ebara, Yasuhiro Watashiba, Koji Koyamada, Koji Sakai, Akio Doi, "Remote Visualization Using Resource Monitoring Technique for Volume Rendering of Large 11 Datasets," saint, pp.309, 2004 Symposium on Applications and the Internet (SAINT'04), 2004
- [10] B. Hibbard, " Visad: connecting people to computations and people to people, " SIGGRAPH Computer. Graphics., vol. 32, no. 3, pp. 10 - 12, 1998.
- [11] <http://www.yaml.org/>



左上より

Zachary Pacheco (Carnegie Mellon University, ETC)
 Christian de los Reyes (Universidad de Monterrey)
 Don Marinelli (Executive Producer, ETC)
 Assistant for Dr. Marinelli
 Salvador Barrera Aldana (Universidad de Monterrey and Carnegie Mellon University, ETC Japan)
 Juan Manuel Mendez Villarreal (Universidad de Monterrey)
 Liheng Liang (Carnegie Mellon University, ETC)

左下より

John Conomikes (Carnegie Mellon University, ETC)
 (社)生産技術振興協会 事務局長 巽昭夫先生
 Mika Sasaki (Carnegie Mellon University, ETC Japan)
 Lucy Beatriz Gomez (Universidad de Monterrey)
 Juan Antonio Cantu (Universidad de Monterrey)