メンテナンスサービスと行動計測*

Behavior Measurement in Maintenance Service

蔵田武志** 興梠正克** 石川智也** Anjin Park**

Takeshi KURATA, Masakatsu KOUROGI, Tomoya ISHIKAWA and Anjin PARK

Key words

pedestrian dead reckoning, action recognition, sensor-data fusion, indoor modeling, walk-through simulator, service engineering

1. はじめに

持続発展可能な社会の実現が急務になってきたことに歩調を合わせて、メンテナンス、リユース、リサイクル等の環境サービスの存在感が日増しに強くなっている。メンテナンスサービスに限っても、例えば、日本標準産業分類において、「ビルメンテナンス業」は1994年に細分類として設定され、2008年には、「プラントメンテナンス業」が「その他の技術サービス業」に内容例示された。市場規模的に見ても、ビルメンテナンス業は2007年時点で約3.5兆円（社団法人全国ビルメンテナンス協会調査）に達しており、引き続き堅調な伸びを続けている。一方、プラントメンテナンス業の市場規模は2006年時点で約8500億円（日本メンテナンス工業会調査）であったが、電力会社、メーカーなどが自社業務としている部分等は含まれないため、実際にはこちらも数兆円規模の産業である。

メンテナンスサービスに含まれる業務としては、例えば、点検、整備、修理、清掃等がその代表的なものとしてあげられる。機器・装置の稼動状況遠隔点検（ネットワークでのモニタリング）を除けば、それらの多くは、従業員の作業によって提供されているといっても過言ではないが、それ故に経験と勘で補われているオペレーションも多い。

従業員の作業や業務内容は、作業報告書、業務日報、申し送り表等に記録されるが、一般的には従業員による記入作業が伴う。作業履歴が蓄積されれば業務分析・サービスプロセス再設計等を工学的に取り組むことができ、情報共

有も進むが、作業記録を厳密にしようとすればするほど、その記入作業自体が従業員に高い負荷を与えてしまうことになる。また、プラントメンテナンスやビルメンテナンスでは移動と作業の繰り返しが頻繁に起きるため、その場で即座に記録を取りづらいつい状況や、他の従業員がどこで何をしているかを把握しづらいつい状況もしばしば発生する。

これらは、多くの労働集約型産業における共通の課題ともいえるが、比較的業務プロセスや製造プロセスの最適設計をしやすい動脈産業との大きな違いの1つが、このような人間系の比率の高さとそれ故のサービス現場の状況の把握しづらさである。加えて、従業員のスキルのばらつきの大きさも最適なサービスプロセスの設計や適用を一層困難にしている。

2. サービス生産性と行動計測

従来からメンテナンスサービス等の労働集約型産業ではいわゆる人時生産性を指標として用いることが多いが、筆者は図1に示すサービス生産性という考え方を取り入れる必要が出てくると考えている。それは、サービスプロセスを高効率化していくことはもちろんであるが、さらに、社会要請（GRC支援やエコ化等）に応え、従業員満足度や人材育成効果を向上させ、サービスプロセスを再設計しやすくすることも考慮したメンテナンスサービスの実現が

図1 サービス生産性

*原稿受付 2010年1月13日

**産業技術総合研究所サービス工学研究センター（茨城県つくば市梅園1-1-1中央第2）

蔵田武志

1996年筑波大学大学院工学研究課修士課程修了。現在、産業技術総合研究所サービス工学研究センターサービス工学企画室長。2003～2005年JSPS海外特別研究員（ワシントン大客員研究員）を兼務。2009年から筑波大学大学院准教

授（連携大学院）を兼務。IEEE、日本VR学会、電子情報通信学会、情報処理学会各会員。博士（工学）。

求められていくことになるからである。なお、このサービス生産性の絶対値の定量化は容易ではないが、少なくとも、サービスプロセス変更指針を検討する際や、変更前後の相対比較をする際の指標等として適用可能である。メンテナンスサービスの効率化やエコ化と前章で述べた諸問題軽減を含めてサービス生産性を向上させることを考えた場合、従業員の行動やサービス現場の状況の見える化はそのための有効な第1歩であるといっても過言ではないであろう。

3. 行動計測と複合現実情報循環

作業者の行動を常時計測できるようにして見える化し、サービス現場を実験室として活用できれば、サービス工学的アプローチで柔軟なサービス設計と適応的なサービス適用が実現できると考えられる。一方で、サービス現場への介入には特に人的コストや通常のオペレーションを妨げるリスクが伴う場合があるが、サービス現場を仮想化した環境を構築できれば、現場検証に用いる仮説（設計）の枝刈りなどの効率化が可能になる。

複合現実（MR）技術は、実世界（人・物事・環境）の情報化・仮想化、実世界と仮想物体などの情報との幾何学的・光学的・時間的・意味的な整合性を必要に応じて考慮した情報提示、さらにそれらのサイクルをさまざまな粒度で総合的に扱う技術分野である。そのため、MR技術はサービス現場の実験室化と仮想化のためのコア技術の1つであるといえるが、その普及には、図2に示すようなセンサ情報やその履歴、インタフェース操作履歴、コンテンツ

図2 複合現実技術に基づく情報循環

等の情報循環の枠組みを構築して、各技術の導入コストを分散させ、社会実装性、持続発展可能性を高める必要がある¹⁾。

サービス現場の実験室化に有効な技術の1つとして人間行動計測のための歩行者デッドレコニング（PDR）²⁾³⁾に基づくセンサデータフュージョン（SDF）技術がある。PDRは、装着型自蔵センサ群（加速度、角速度、磁気、気圧など）のセンサ情報に基づく歩行者用の自律式推測航法である。センサの装着位置によって手法が分かれる⁴⁾⁵⁾が、腰部装着の場合、加速度・角速度の時系列パターンで歩行動作の認識と歩行速度の推定を行う。また、重力方向、角速度、地磁気情報をカルマンフィルタ等で組み合わせることで、ジャイロのドリフト、磁場の歪みや外乱要因などの各センサの欠点を補償しながら姿勢（向き）を推定する。位置は、それらを用いた積算処理により逐次更新される。単なる測位と異なり、向きの情報も得られるため、コンテキスト認識に非常に有効な技術であるといえる。

ただし、PDRの性能がいくら向上しても累積誤差を取り除くことは困難であり、また、絶対位置を与える必要があるため、通常はSDF技術を適用することになる⁶⁾。これにより、PDRの補正ができるだけでなく、過度にインフラに依存することがなくなるため、例えば、LPS（Local Positioning System）で必要とされる装置の設置密度を低く抑えることができるようになる。また、画像ベースの手法の場合は、登録データ数を削減することができ

図3 清掃作業の計測と可視化

図4 PDRと監視カメラでそれぞれ得られた軌跡情報を統合したPDR補正と監視映像への自動タグ付け（上：PDR装置を装着した作業員，下：PDR装置未装着の人が通過した例）

る。さらに、作業員の存在確率分布に基づくマップマッチングにより精度を向上させることもできる。マップマッチングに利用する情報は、3D地図などの人間のためのコンテンツ⁷⁾が整備されていればそれを再利用することも可能である。

PDRで用いられるセンサは、もちろん、歩行以外の行動認識にも適用可能であり、歩く、走る、座る、(特定の)作業する、エレベータに乗るなどの動作種別と位置や向きとを同時に獲得し、詳細な行動データを取得することも技術的には可能になりつつある。その動作種別識別には、SVMやAdaBoostなどの機械学習手法が広く適用されている⁸⁾。また機器操作履歴等と組み合わせて動作の種類を限定することで、識別精度を向上させることもできる。

図3は、清掃作業を模擬した被験者の移動履歴を計測した実験例である。この例では初期値は手動で設定し、PDRとマップマッチングを用いたパーティクルフィルタによって位置姿勢を更新している。また、工場やショッピングモールなどの施設内の巡回警備時等には、PDRと監視カメラのSDFも有効である（図4）。

4. 仮想化現実環境での行動観測

サービス利用者・提供者にとって頻繁に起こる状況の1つに「サービス現場内の（特に歩行による）移動と比較的単純な作業の繰り返し」がある。これはメンテナンスサービスの従業員の多くにも当てはまる。このような状況を仮想的に再現し、行動選択理解（CCE: Cognitive Chrono-Ethnography）やそれに基づく事前評価等を実現するために、筆者らはハンズフリー全方位ウォークスルーシミュレータ（WTS）の開発を進めている（図5）⁹⁾。サービス現場の再現に主眼を置くと主に、サービス利用者や提供者間での情報共有に関する調査研究に適した設計とするため、WTSでは、他のサービス利用者・提供者との対話による情報共有、手持ちデバイス（ハンディターミナル）や紙（地図、チェックリスト等）による情報共有を仮想環境で実現する。

図5 サービス現場で頻発する状況を再現可能なハンズフリー全方位ウォークスルーシミュレータ（WTS）

図6 WTS内で地図を見たり、他の従業員と会話したりしながら、情報を得て、目的地に向かっていく様子

仮想化されたサービス現場における被験者実験において、仮想環境と実環境との違いに起因するノイズ混入を抑制しながら前述の状況を再現する必要がある。そのため、まず、PDRセンサモジュールを用いた足踏み動作と体の回転による操作体系を開発している。これにより、絶対方位感覚を維持することができ、VR酔いを抑制することができる。また、ハンズフリーであるため、手持ちデバイスによる情報共有と作業支援を再現できる。PDRデバイスを用いることによる実際の歩行と足踏みとの対応付けも検討を始めている。さらに、他のサービス利用者・提供者との対話は情報共有の調査研究のための重要な要素であるため、画像処理技術に基づいてリアルタイムに生成される他のサービス利用者・提供者の写実的アバタによる遠隔対話

機能を提供している¹⁰⁾。

このような事前評価環境の社会実装性を向上させるため、コンパクトで簡易な機構を採用して複製を容易にしている。評価実験時の最大のコストの1つは、被験者（特にサービス提供者）の拘束時間である。そのため、サービス現場近くでの実験を可能とするために可搬性も重要になってくると考えられる。

5. お わ り に

本稿では、サービス現場の実験室化と仮想化によるサービス設計の効率化等に資する複合現実情報循環技術について紹介し、メンテナンスサービスとの親和性の高さについても述べた。行動計測やその見える化から日報等の自動記録までにはまだ飛躍があり、今後は、計測データからの日報半自動生成等の技術開発が必要である。また、WTSのような仮想化環境での事前評価によるサービス設計の有効性の検証も今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 蔵田武志, 興梠正克, 石川智也, 朴鴈振: 複合現実技術に基づくサービス連携と共創的情報循環, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, (SI2009)。

- 2) M. Kourogi, N. Sakata, T. Okuma and T. Kurata: Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/Rfid/Self-contained Sensor System, Proc. ICAT, (2006) 1310-1321.
- 3) M. Kourogi and T. Kurata: Personal Positioning Based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera, Proc. ISMAR, (2003) 103-112.
- 4) 興梠正克, 大隈隆史, 石川智也, 蔵田武志: 装着型自蔵センサモジュールを用いた歩行者の位置・方位計測技術, 電子情報通信学会学会誌, **92**, 4 (2009) 268-275.
- 5) 舘暲, 佐藤誠, 廣瀬通孝監修: バーチャルリアリティ学, 工業調査会, (2010)。
- 6) T. Ishikawa, M. Kourogi, T. Okuma and T. Kurata: Economic and Synergistic Pedestrian Tracking System for Indoor Environments, Proc. SoCPaR, (2009) 522-527.
- 7) T. Ishikawa, K. Thangamani, M. Kourogi, A.P. Gee, W. Mayol, K. Jung and T. Kurata: In-Situ 3D Indoor Modeler with a Camera and Self-Contained Sensors, Proc. HCII, LNCS 5622, (2009) 454-464.
- 8) M. Kourogi, T. Ishikawa and T. Kurata, A Method of Pedestrian Dead Reckoning Using Action Recognition, Proc. PLANS 2010 (to appear)。
- 9) 朴鴈振, 大隈隆史, 興梠正克, 石川智也, 蔵田武志: ハンズフリー全方位ウォークスルーシミュレータ, 日本VR学会第29回複合現実研究会, (2009)。
- 10) A. Park, K. Jung and T. Kurata: Codebook-based Background Subtraction to Generate Photorealistic Avatars in a Walkthrough Simulator, Proc. ISVC, LNCS 5875, (2009) 500-510.