

Glue Logic による情物一体部品の制御

Parts-Information Unified Work Flow Control using the Glue Logic

○電気通信大学 高田昌之、清水建設 八木淳一、トステム 安藤敬一

Univ. of Electro-Communications Masayuki Takata, Shimizu Corporation Junichi Yagi, Tostem Keiichi Ando

(要旨)

建設資材の生産工程から建築施工現場における資材の取りつけ検査までを包含する、一貫型の生産工程管理システムを構築した。仕掛品には RFID を貼付し、また工程内の要所に配置した『関所』を通過する度にこれを読み取り、得られた情報を Glue Logic を中心に構成した事象駆動型のソフトウェアシステムで解析することで現品の動きを建設資材メーカーから建築施工現場まで確実かつ迅速に把握でき、早期に納期遅れを発見して引き当てをやり直したり追加生産を開始したりできる。

キーワード：情物一体化、IC タグ、Glue Logic、事象駆動型情報処理

Summary

This paper describes an implementation of the Integrated Construction Process Management System, which includes manufacturing process management features for building parts, and also includes construction process management features at construction site. This system gathers production data by reading RFIDs on WIPs, and analyzes the data with event-driven data processing system, which is built on the Glue Logic infrastructure system.

Key word: parts-information unification, RFID, the Glue Logic, event-driven data processing.

はじめに

近年、RFID が広く実用に供されるようになり、製品管理・物流管理の転機を向えようとしているが、同様な変化が建築業とこれを取り巻く産業でも起きつつある。

筆者らは建築施工現場と建設資材製造現場とを連続した一連のフィールドと見做し、この中で一貫した工程管理システムを RFID を核にして構築した。このシステムが稼働すれば、例えば現場に搬入した建設資材に何らかの不具合があった場合には、瞬時に代替建設資材の引き当てをやり直し、さらに必要であれば追加の生産要求をも発行することができる。また、建設資材の設計変更を行なうことを検討するときには、その変更によってどれだけの仕掛品が無駄になるかを知ることができ、実際に変更を行なうことを決定したなら古い設計で製造中の仕掛品に対する加工を瞬時に停止させることも可能となる。

また、工程管理システムの把握する情報を建築設計・建築施工・建設資材設計・建設資材製造の各現場のどこからでも自由に参照できるようにすることによって、無駄のないプロジェクト管理を容易に行なえと期待できる。

本システムは大きくは、情報の可視化を担当する APC システムと、需要に対して引き当てを行なう ADB システムの二つから構成される。前者が工程中の資材や部品の現状をわかりやすく表示することを目的としているのに対し、ADB は自ら引

き当てを行なうことで現在受けている需要が将来どのように満たされるかを予想し表示することを目的とする。本年は現実の建設施工現場に情報システム一式を持ち込み、施工現場内のものの流れに対して工程管理システムの適用を試みる実証実験を行なった。本稿ではこの実験に関し、主に ADB システムについて詳述する。

1. 実装のアプローチ

本研究では建設資材が通過する各種の段階を追跡するため、『関所』と名付けたチェックポイントを建設資材製造・建築施工の各現場内に配置し、各関所を通過する建設資材（もしくはその仕掛品）に取りつけられた RFID に固有な識別子を読み込むことによって進捗情報を収集する。

各建設資材の納期、もしくはその資材が建築物に取り付けられて最終検査に合格しなければならない期限、は建築スケジュールから規定され、これにしたがって各建設資材・部品がいつまでに各関所を通過しなければならないかを関所間標準所要時間情報を用いて逆算により求めることができる。一方、各建設資材・部品が関所を通過するごとに、その通過実績時刻に標準所要時間を加算することによって、以降の各関所での通過予想時刻を計算することができる。このようにしてすべての品種ごとに需要と供給を引き当ての基準とする特定の関所での通過期

限時刻と通過予想時刻とで表現して時刻順に突き合わせ、各々の先頭から順に対応付けを行なうことで引き当てを実現した。

こうして対応付けられたふたつの時刻のうち、建設資材・部品の通過予想時刻が通過期限時刻に間に合わない需要については、現時点において納期遅れが発生することが予想されると解釈する。また、仕掛品が関所を通過するたびに、あるいは建築スケジュールに変更が入って部品の取り付け完了検査の期限時刻が変更されたり、過去に生産した部品に問題が発生して使用不可能になるたびに、各関所での通過予想時刻と通過期限時刻とを再計算し、引き当てを再度行なう。

もしも、ひとつの建設資材や大部品が複数のより小さな部品から構成されている場合には、生産工程もしくは建築物に取り付けられる過程のどこかで、小部品を組み合わせる作業が行なわれる。今回の実験に用いたモデル内では組み合わせ作業が行なわれる関所において、小部品の通過期限時刻を建設資材もしくは大部品の通過期限時刻に一致させ、また小部品の通過予想時刻のうちでもっとも遅いものを建設資材もしくは大部品の通過予想時刻に一致させる処理を行なうことによって、組み合わせ作業を表現した。

2. 情報の収集

すべての建設資材には RFID が取り付けられ、その資材に関する工程が一区切りして関所を通過するたびに RFID 読み取りアンテナ付きの PDA によって読み取られる。今回の実証実験では建設施工現場を舞台としたため、各関所は工程内の以下の各所に配置した。

1. 工場出荷
2. 現場搬入（現場受け入れ検査）
3. 間配り（現場内の最終集積位置への配置）
4. 建て込み開始（部品の位置変更不可能点）
5. 建て込み終了
6. 建て込み後検査
7. シーリング
8. ガラス取り付け
9. 最終検査

また、各建設資材が関所を通過するときには以下の処理を行なうものとした。

1. 仕掛品 RFID の読み込み（仕掛品識別子の検索）
2. 関所通過時刻の記録
3. 関所通過時の建設資材の物理的位置の記録
4. 完了検査成績の記録し、以降の処理を継続してよいかどうかの判定を作業員に要求（検査失格の場合は、原則として、同形式の別品を割り当て）
5. 同一の物理的位置にあり同一の関所に統一している部品群について、これらを構成して作りあげることが可能な製品があるか否かの検索し、新しい製品を構成できる場合にはその構成

各関所では仕掛品に取り付けられた RFID を手がかりとして追跡を行なうが、幾つかの建設資材を組み合わせると単一の資

材を構成するといった組み立てを伴う工程を含む場合には、仕掛品の粒度を考慮する必要がある。

すなわち、たとえば施工現場ではひとつとして認識される資材が実際には十個の資材を組み合わせで得られたものであったと仮定すると、そのひとつの資材には合わせて十個の RFID がついている筈である。建設資材の RFID を読み取ろうとしたときには、その全ての RFID が識別子を送り返してくるかもしれないし、読み取りアンテナの指向性などの問題からその一部だけが回答してくるかもしれないが、追跡システムはそのいずれの場合であっても正しく処理ができなければならない。よって、

1. 読み取った識別子から、その仕掛品が何であるかを検索して識別できなければならない
2. 仕掛品には、それを構成する全ての部品の情報 (RFID) を持たせなければならない
3. 分解・再組み立てが予想される場合は、組み立ての順序や部品の構造を表現する木構造を保持したままで蓄積する必要がある

また、操作者の氏名や資材の物理的位置の入力を簡便にする、などの目的でも RFID を利用したため、読み取った RFID がどのような目的で何を意味するものであるかを正しく判別できることも必要である。

3. 引き当ての実装

前述のように、建設資材の需要に対する仕掛品の引き当ては、引き当ての基準とする関所での需要の通過期限時刻と仕掛品の通過予想時刻とを時刻順に突き合わせ、順に対応付けを行なうことによって実現した。このとき、引き当てはすべて部品の種類ごとに独立した動作であるとし、複数の種類の建設資材に共用される小部品は無いものとして扱った。また、手戻り工数を考慮の対象外とするために、すでに間配りの完了しているものは再引き当ての対象としないこととした。

また、複数の部品を組み合わせると複雑な資材を構成する場合には、資材の引き当てを決定するとそれに従属して構成部品の引き当てが確定するため、このような部品間の関係を厳格に維持しつつ全体として柔軟に対応付けを変更できるようなデータ構造を用いた。

さらに、システムの期待したとおりの動作が施工現場でなされるとは保証されないため、システムの行なった引き当てよりも現実に行なわれた引き当てのほうを優先するために、特定の関所を通過して位置変更が不可能になった以降では、同じ型の製品の引き当てを、その製品需要の配置されるべき場所と仕掛品が実際に存在している場所との比較をキーに行ない、システムの行なった引き当てが現実から外れないよう留意した。

引き当て処理は、建設資材が関所を通過するたびに ADB システム内部で行なわれ、その結果は the Internet 上で公開される。この情報は World Wide Web ブラウザによって、建築設計・建築施工・建設資材設計・建設資材製造の各現場のどこからでも自由に参照することができる。

4. 実時間制御用情報基盤システム: Glue Logic

Glue Logic はネットワーク環境において実時間制御アプリケーションを容易に構築できるようにすることを目指して構築された情報基盤システムであり、active database と呼ばれる特別な機能を持つデータベースを中核に構成されている。

この active database とは、多くのデータベースがデータを利用するクライアントからの働きかけが無ければ動作しえないのに対し、自己の状態に変化があった時にはクライアントの働きかけを待つことなく自発的に動作を開始する能力を持つデータベース一般の総称である。

また、Glue Logic とは、生産工程制御をリアルタイムで行なう Manufacturing Execution System の中核部分を担うため、電気通信大学高田研究室で開発された実時間制御向けインフラストラクチャ・システムの固有名称である。

Glue Logic は、ネットワーク上で並行して動作する実時間制御用アプリケーション・プログラム（以下エージェントと呼ぶ）群が、互いに情報を共有し、同期を取り、容易に協調動作できるようにすることを目指して開発された。この目的を達するために Glue Logic は以下のような特徴を持つ。

(1) 階層化された名前空間

複雑な制御システムはその内部にいろいろな階層構造を持つ必要がある。この階層には、たとえばある目的の下に戦略を考える階層とその戦略を実行に移す階層とのように抽象度によって区別されるものもあれば、距離的に近いものをひとまとめにする一方で互いに没交渉なものは上位の階層を経由して情報交換させるといように空間的な配置に起因する階層性もある。このような階層性を情報だけから構成される空間内で整然と表現することを目的として、Glue Logic が管理する共有情報の名前付けのために無限階層性を持つ名前空間を用意した。

(2) 事象発生を伝える割り込み機構

制御の目的に利用する上で、事象発生を通知すると同時に他のエージェントと同期して動作するためには、タイミングを伝達する手段として割り込みのような機構が必要である。このため Glue Logic では、一般性を失わない範囲で最も抽象化したモデルとして、共有情報の値が変化したときにあらかじめ要求していたエージェントに対して変更通知メッセージを送付するというモデルを採用した。このことにより、対象世界を記述するワールド・モデル内での状態の変化が、直接エージェントに対するメッセージ送付の引き金となり、事象駆動型のエージェント群が効率よく動作することができる。

(3) 情報の整合性を維持する不可分動作

Glue Logic の管理する共有情報は、リレーショナル型ではないものの立派なデータベースであり、並列実行する数多くのエージェントから参照されながら更新されていくサーバ・クライアント型の環境で利用される。このため、どんな瞬間に参照されてもデータ間の整合性を失わないようにするために、他のエージェントによって中断されないことを保障しつつ複数の情報の参照や更新を行なわせることが必要である。

さらにこの概念を拡張して、参照した結果にしたがって条件的に更新を行なうことにより、複数のエージェントによって共有される資源の排他的な占有を制御することもできる。

(4) 事象の定義や振る舞いの記述を解釈する言語処理系

応答すべき事象の定義や執るべき振る舞いの記述を Glue Logic 管理下の共有空間に、共有情報として格納することができる。これにより、事象が発生した場合に処理を行なうエージェントを Glue Logic が統一的に管理することができる。さらに Glue Logic の内部にインタプリタを持たせたため、事象発生時に取りべき振る舞いを記述した情報をあらかじめ与えておけば、その事象が実際に発生したときにはエージェントを煩わせることなく Glue Logic 自身がその記述に従って必要な振る舞いを示すことができる。

このことにより、すべての事象の定義とそれに対する振る舞いとを Glue Logic を中心として同一の言語で統一的に記述・抽象化できる。すなわち、すべての事象の発生は Glue Logic 内部で認識されて、その事象に対する振る舞いは変更通知を受けたエージェントもしくは Glue Logic 自身の内部で実現される。このとき、事象の定義は共有情報として全エージェントから参照可能であり、その事象そのものも全エージェントから観測可能であることが重要である。他方の事象に対応する振る舞いに関しては、もしもエージェント内部で記述し実現するならば完全な情報隠蔽が可能となるが、一方でインタプリタに任せるならば執るべき振る舞いを状況に応じて動的に変えたり、さらには振る舞いの記述そのものをデータとして演算操作の対象とすることすら可能である。

このような、状況に柔軟かつ迅速に対応して多彩な振る舞いを示すことのできるシステムこそが、Glue Logic が最終的に実現を目指す『知的』リアルタイム制御システムである。

このように Glue Logic は、自身が管理する情報に変化があるか否かを常に監視し、事象が発生したときには適切なエージェントにメッセージを送って必要な動作を行なわせる働きをする。このようなインフラを利用することによって、複雑で煩雑な処理を多数の単純な動作をするエージェントによって実現できた。

5. 実証実験用プロトタイプシステムの実装

本年は建設現場に無線 LAN を中心とする情報システムを持ち込んで施工現場実証実験を行なうため、実際に現場から情報を採取し収集して、部品の流れを示すとともに作業進捗をも把握できるようなシステムのプロトタイプを作成した。

施工現場内では、仕掛品に対し何らかの工程を完了したときに建設部材に取り付けられた RFID を PDA に取り付けた読み取りアンテナで走査し、その工程における部材に対する処理が完了したことおよびその処理が成功裏に完了したか否かを入力する。この情報は直接 PDA から無線 LAN を介して、情報の可視化を担当する APC システムに渡される。同時にこの関係所通過情報は APC から引き当て処理を担当する ADB システムへ、必要な情報を URI に埋め込んだ Hypertext Transfer Protocol (HTTP) リクエストの形式を用いて引き渡される。

HTTP リクエストは World Wide Web Server の CGI インタフェースを用いて解析され、埋め込まれた情報を抽出整形した後、共有情報として Glue Logic 内部に貯えられる。同時にこの情報の到着を契機として、その仕掛品の各関所での通過予想時刻を計算するエージェントを起動し、結果として得られた関所通過予想時刻の系列を再度 Glue Logic の共有情報として貯える。他方、もしも需要の納期（最後の関所の通過期限時刻）を変更したい場合は、同様に HTTP リクエストを用いて期限変更用の CGI を動作させることによって新しい期限時刻を与え、これによって関所通過期限時刻を計算するエージェントを起動して、その仕掛品の各関所での関所通過期限時刻の系列を共有情報として貯える。

共有情報内の関所通過予想時刻系列もしくは関所通過期限時刻系列が変更された場合は、仕掛品同士の間での追い抜きや需要の納期の到来順の逆転などが起こっている可能性があるため、整列化エージェントを起動して、新しく計算された情報に基づき、引き当てを行なう基準とする関所での時刻順に需要と仕掛品とを整列化し、その結果を共有情報とする。

これらの時刻順に整列化されたリストの内容が以前と変化していた場合には、対応付けエージェントにその旨のメッセージが送られ、起動される。このメッセージが送られる状況は、実際に複数の需要の納期が相前後したり仕掛品同士の間で追い抜きが発生したりした場合であり、再引き当てが絶対に必要な状況である。逆に追い抜きなどが起こっていない状況では、いくら時刻系列に変化があろうとも整列化エージェントの出す結果には変化が現れないため、対応付けエージェントが動作することは無く、エージェント起動のシーケンスもここで途切れることとなる。

需要と仕掛品の対応付けは、原則的に基準とする関所での時刻順に行なうが、すでに躯体に取り付けが終わってしまったり、間配りが終わってしまっている仕掛品に対しては、位置情報に基づく対応付けを優先するし、幾つかの建設資材をひとつの資材に組み合わせる場合には全体の対応付けを行なった時点で従属的に構成部品の対応付けが完了する。これらの対応付けや複合資材構成情報などの相互関連情報もすべて Glue Logic 内部に蓄積されて、その後の対応付けに対する拘束条件として用いられる。

対応付けが完了すると、その需要に引き当てられた仕掛品に対する工程の進捗状況が照合され、各需要に対する進捗情報として状況報告が生成される。この結果に基づいて、APC システムによる納期遅れの発生の有無や需要に対する進捗表示などが行なわれる。

6. 考察

今回の実装において ADB システムは、IBM ThinkPad T42 パーソナル・コンピュータで稼動する FreeBSD 4.10 オペレーティングシステム上で稼動させた。この実験において判明した事柄を以下に示す。

1. RFID の読み込みから APC システム上の表示が更新

されるまでは、ほとんどすべての場合で、数秒から十数秒のうちに完了する。

2. 数台の PDA からの入力を処理する目的には、今回の実装は充分である。
3. 今回の実装ではすべての引き当てを自律的に人手の介入なしに行なわれる仕様としたが、引き当て対象の融通を行なう場合には担当者の承認が必要とする方が現実味を持つ可能性もある。このような要求に対してはシステムが担当者に引き当ての提案を行い、その提案が承認された場合にのみ引き当てを実行するような処理形態を考慮する必要がある。ただしこの場合にはある事象が発生した場合にそれがどのような状況を齎すかを即座に予測することは、困難になる。
4. 関所を用いたモデル化は、非常に単純化されたモデルでありながら充分使用に耐えるものである。しかし、一部の資材型式に関しては異なった関所系列を使用したいと感ぜられる場合があり、このような場合の対応も臨まれる。同様に関所間標準所要時間情報に基づく進捗予想も同様であり、各種の工程制御管理システムなどとリンクさせればより正確な予測ができるようになるものと考えられるが、システムの単純さと現実の使い勝手との間のトレードオフが問題となる。

おわりに

建設現場における実証実験を経て、今回構築したシステムが十分な可用性を持つものと認識できた。しかし、モデルの単純化を追及したためか、実際に使ってみるといろいろと利用者の認識とのずれが起こっていることも認識できた。

今後は、考察に掲げた事柄を踏まえて、人間の介入なしにシステムが自律的に行動できる業務範囲の確立、単純さと便利さの両立する生産システムモデルの構築、複数の建設資材メーカーと複数の施工現場との相互接続運用、製造から建築までの一貫した工程スケジューリングの実施、などを目標として研究を進めたい。

参考文献

- 1) 高田昌之、"並列実行支援システムGlue Logicsの実装", インターフェース1998年1月号、CQ出版
- 2) 高田昌之、荒井栄司、"分散型FA 制御用プログラミング/実行環境(第1報) - 自律分散制御システム構築のためのパラダイム -", 精密工学会誌, 第62巻, 第10号(1996)
- 3) 湯浅秀男, 伊藤正美, "自律分散システムの協調と大域的秩序形成", 計測と制御, 第32巻, 第10号, pp.929 ~ 934
- 4) 石川博, "2. アクティブデータベース", 情報処理, 第35巻, 第2号, pp120 ~ 129 (1994)