

INTERAKTIVE OPTIMIERUNG MESS-, STEUER- UND REGELUNGSTECHNISCHER ANLAGEN FÜR DIE TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG

Torsten Fahrig¹, Manfred Krafczyk¹, Björn Nachtwey¹ und Jonas Tölke¹
¹CAB - Institut für Computeranwendungen im Bauingenieurwesen,
TU Braunschweig, Germany

KURZFASSUNG

Dieses Dokument beschreibt eine interaktiven HVAC Simulationsumgebung basierend auf einem Software-Prototypen zur Berechnung von Raumluftströmungen in Gebäuden. Mit der vollständigen Virtualisierung der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik durch Software-Agenten werden erstmalig moderne Methoden des Computational Steering und des vernetzt-kooperativen Entwurfs in der klimatischen Gebäudeausrüstung eingesetzt.

Es werden Optimierungsmöglichkeiten vorgestellt, die dem Regeltechniker über den Prototypen zur Verfügung stehen, um die Klimaanlageinstallation sowie die Sensorik geometrisch anzuordnen und Kennlinien und Regelkreise der Anlage zu parametrisieren.

Eine qualitativer Vergleich der numerischen Ergebnisdaten eines Beispielszenarios mit Referenzmesswerten der Fachliteratur belegt die Funktionsfähigkeit des prototypischen Konzeptes.

ABSTRACT

In this paper we present interactive HVAC simulations based on a software prototype for fluid flow problems in civil engineering. The complete virtualization of all measuring-, operation- and control-devices by software agents serves as an example of how Computational Steering and distributed approaches can be utilized for HVAC design and installation.

The possibility of the control engineer to optimize the geometrical position of HVAC elements such as inlets, outlets and measurement sensors and the possibility to parameterize the control loop of the installation highlights the usefulness of an interactive optimization.

The computational results of a typical simulation scenario of our prototype will be compared with reference assets and field measurements found in the literature and confirm the feasibility of our approach.

EINLEITUNG

Eine praxisnahe Konzeption und Optimierung von HVAC-Systemen (heat-conditioning, ventilation, air-conditioning (Ritschel, 1994)) setzt neben einer durchdachten Positionierung und Bemessung der Bauteile wesentlich die Einbeziehung mess-, steuer- und regelungstechnischer Prozesse (MSR-Technik (Ritschel, 1994)) voraus. Ausgehend von sensorisch zu erfassenden Größen wie z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Turbulenzintensität werden Flusstärke, Temperatur und Einfallswinkel (Swirl) der einströmenden Luft aus den Klimamodulen entsprechend angepasst. Diese dynamisch variierenden Zustände innerhalb einer Simulationslaufes werden innerhalb des Prototyps in den Optimierungsprozess einbezogen.

Dieses Konzept erfolgt über einen agentenbasierten Ansatz, indem eine entsprechende Anzahl von Wrapper-Agenten (Arlt, 2000) zur Sensorik und Steuerung an die geometrischen Objekte, welche die HVAC Elemente repräsentieren, angehängt und somit in den Prozess eingebunden werden.

Die Behaglichkeit im Raum, definiert durch den PMV-Index (Predicted Mean Vote; ISO 7730, 1984; Ritschel, 1994) wird durch den temperierten Lufteinfluss aus dem Klimaanlageauslass beeinflusst. Der Regelkreis dieses Auslasses, repräsentiert durch eine spezifische Kennlinie, wird durch ein autonomes Agentensystem gesteuert. Der Agent fragt in Abständen benötigte Regelgrößen über eine definierte Schnittstelle von virtuellen, im Gebäude verteilten Messsensoren ab, welche ebenfalls agentenbasiert sind. Regel- sowie Messagenten können während der Laufzeit der Simulation dynamisch generiert und entfernt werden. Die Kopplung dieser Agenten an das Netzwerk der virtuellen HVAC Installation erfolgt hierbei ebenfalls automatisch.

Für Informationen über den generellen Aufbau des Prototyps wird auf (Fahrig, Nachtwey, 2004), (Fahrig et al., 2004) und (Fahrig et al., 2005) verwiesen.

MSR-TECHNIK

Das nachfolgende Zitat (Recknagel et al., 2005) beschreibt die Regelgüte von Regelkreisen:

„Eine Regeleinrichtung hat die Aufgabe, die Regelgröße x möglichst genau auf einen vorgegebenen, zeitlich konstanten oder veränderlichen Wert zu halten und den Einfluss von Störgrößen auf ein Mindestmaß zu beschränken. Außerdem ist zu fordern, dass das Ausregeln [...] in kurzer Zeit erfolgt. Weiterhin sollen sie [...] Überschwingungen innerhalb bestimmter Grenzen halten. Die Erfüllung dieser Forderungen ist nicht möglich, so dass hierbei Kompromisse geschlossen werden müssen.“

In der Praxis müssen hierbei aufwendige und dadurch kostenintensive manuelle Parametrisierungen der einzelnen Regeleinrichtungen basierend auf lokalen Messdaten durchgeführt werden. Dieser Sachverhalt zeigt das enorme Potenzial von computergestützter Vorparametrisierung und Optimierung in der praktischen Anwendung.

Nach (Schleicher et al., 2004) stellen sich die wichtigsten Aufgaben für einen Regelungstechniker wie folgt dar:

- Festlegung der Regelgröße
- Prüfung der Vorteile einer Regelung
- Festlegung des Messortes sowie Feststellung der Störgrößen
- Wahl des Stellgliedes und eines geeigneten Regelgerätes
- Positionierung der Regelgeräte
- Inbetriebnahme, parametrisieren, optimieren

Über den hier präsentierten Prototypen ist eine vollständig virtuelle Realisierung der hier aufgeführten Aufgaben einschließlich der Optimierung der geometrischen Anordnung der Anlagenelemente möglich.

HVAC AGENTEN

Die Definition eines Software Agenten nach (Wooldrige und Jennings, 1995) lautet:

„Ein unabhängiges Programm, das in der Lage ist, seine Entscheidungen und sein Handeln, basierend auf der Wahrnehmung seiner Umwelt, bei der Verfolgung von Zielen selbständig zu kontrollieren.“

Ein direkter Vergleich der Funktionalität von MSR-Techniken mit der Funktionalität von Software-Agenten unterstreicht das ideale Anwendungsgebiet dieser Technologie zur Emulation der Verhaltenseigenschaften von Regelkreisen und Messsensoren.

Implementierung

Für eine interaktive Simulation der HVAC MSR-Technik werden die Software-Agenten über eine bidirektionale COM-Schnittstelle (Microsoft, 2006) an den interaktiven geometrischen Modellierer, den Autodesk Architectural Desktop (ADT; Autodesk, 2005) angebunden. Der Modellierer überwacht permanent geometrische Modifikationen innerhalb des Entwurfsraumes und übermittelt automatisch relevante Informationen für die HVAC Installation an die Agenten. Entsprechende Modifikationen des zur Laufzeit berechneten Luftstromes der Klimaanlageeinlässe werden ebenfalls über die COM-Schnittstelle von den Agenten an den Modellierer übertragen.

Diese Informationen werden als neue Randbedingungen für den CFD-Kern in Form von PropertySets an das jeweilige HVAC Element innerhalb der Zeichnung angehängt und periodisch aktualisiert. In Kombination mit den triangulierten Geometriedaten werden alle zur numerischen Simulation benötigten Informationen als Datenstrom an den CFD-Kern übermittelt.

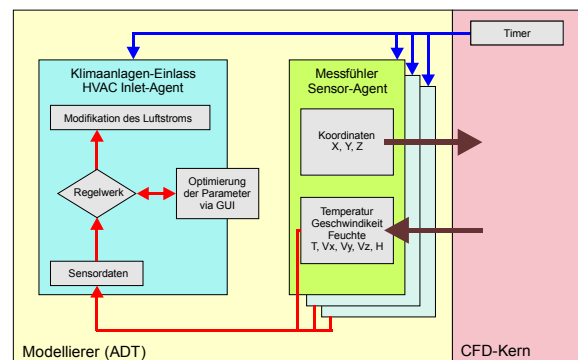


Abbildung 1: Scheme HVAC Agenten

Abbildung 1 zeigt das Implementierungsschema der Software Agenten bestehend aus zwei Typen: Der Sensor-Agent fragt periodisch Daten für den Klimakomfort abhängig von seiner Position im virtuellen Konstruktionsraum vom CFD-Kern über eine Socket-Verbindung ab (Trolltech, 2004). Mehrere Sensor-Agenten können an einen oder mehrere Inlet-Agenten gekoppelt werden.

Der Inlet-Agent repräsentiert jeweils einen Klimaanlageauslass einer HVAC-Installation sowie die jeweilige Regeltechnik. Basierend auf der individuellen Kennlinie des Einlasses wird der Luftstrom in den Raum über Geschwindigkeit, Temperatur, Feuchte und Einfallswinkel reguliert. Die Parameter können während des Simulationslaufes über die Benutzeroberfläche vom Regeltechniker direkt modifiziert werden. Da die MSR-Technik zeitabhängige Steuerung voraussetzt, wird ein kontinuierlicher Zeitimpuls über den Rechenkern mit der tatsächlichen Simulationszeit an das HVAC Framework gesendet.

Regelwerke

Das Regeln ist ein Vorgang, bei dem die fortlaufend erfasste Regelgröße mit einer Führungsgröße verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Der sich daraus ergebende Wirkungsablauf findet im Regelkreis statt. Bei allen Regelkreisen ist von Bedeutung, wie der Regler bei einer Abweichung der Regelgröße vom Sollwert unterschiedlich eingreifen soll (z.B. schnell oder langsam, stark oder schwach). Dies hängt von den regelungstechnischen Eigenschaften der Regelstrecke ab, weshalb man das statische und dynamische Verhalten der einzelnen Teile (Glieder) des Regelkreises genau kennen muss.

Die Wahl eines passenden Regelgliedes hängt vom Anwendungsfeld ab. Der HVAC Inlet-Agent beinhaltet eine Reihe von gängigen Regelgliedern (P-, I-, PD-, PI-, PID-Regler) resultierend aus der Kombination von Proportional-, Integral- und Differenzial-Elementen. Entsprechende Parameter dieser Elemente (Regelstärke, Reaktionszeit, Vor- und Nachlaufzeiten) können hierbei innerhalb des Simulationslaufes optimiert werden.

Simulation

Das hier skizzierte Simulationsszenario zur automatischen Regelung der Temperatur soll qualitative Übereinstimmungen der Ergebnisse aufzeigen. Als Geometrie wurde hierbei ein Büroraum gewählt welcher einen Klimaanlageinlass als Wandinstallation sowie einen Messsensor im Zentrum des Raumes aufweist. Für die Regulierung von T wurde ein I-Regler verwendet.

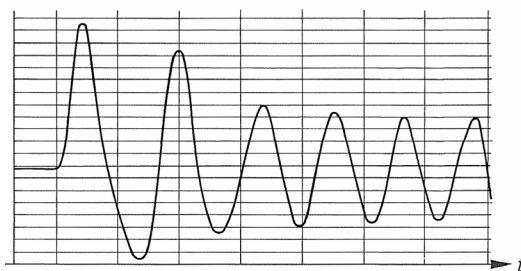
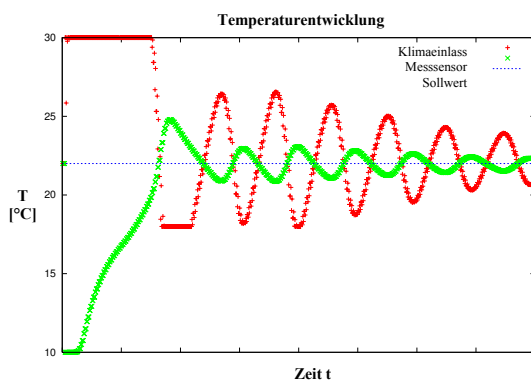


Abbildung 2: Verhalten eines I-Reglers; Ergebnisse der Simulation (oben) und Fachliteratur (unten)

Die Abbildung 2 zeigt, dass die Simulationsergebnisse denselben qualitativen Verlauf wie die Referenzanlagen der Fachliteratur aufweisen. Das Diagramm zeigt schwach gedämpfte Oszillationen. Dieses Verhalten ist charakteristisch für ein I-Regler basiertes System, bei dem die Regelgröße zu stark bzw. die Regelzeit zu kurz gewählt wurde. Eine Validierung des HVAC Konzeptes wird im Rahmen des Konferenzbeitrages präsentiert.

LITERATUR

- Autodesk Architectural Desktop / AutoCAD, <http://www.autodesk.com>
- Fahrig T., Nachtwey B. 2004, 16. Forum Bauinformatik, Braunschweig, Germany, „Ein Prototyp für verteilte, interaktiv-kooperative Simulationen zur Beschleunigung von Entwurfszyklen im konstruktiven Ingenieurbau“
- Fahrig T., Nachtwey B., Geller S., Tölke J., Krafczyk M. 2004, ICCCB-E-X Conference Weimar, Germany, A Product Model based Approach to Interactive CAE Design Optimization
- Fahrig T., Tölke J., Krafczyk M. 2005, Building Simulation Conference Montreal, Canada, Agent-Based Measuring, Control and Regulation Techniques for HVAC-System Simulations
- ISO (International Standards Organization) Standard 7730 (ISO 1984) "Moderate Thermal Environments -- Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort"
- Martin Arlt 2000, Agentenbasierte Systemarchitekturen für Produktdaten-Management-Systeme, Shaker-Verlag, Aachen, Germany
- Microsoft 2006, COM/COM+ (Component Object Model) <http://microsoft.com>
- Recknagel, Sprenger, Schramek 2005, "Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2005/2006", 72. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag München, Germany
- Ritschel 1994, Raumklimatechnik, Band 1, Springer Verlag, Berlin, Germany, pp.125-153
- Schleicher, Blasinger 2004, "Regelungstechnik für den Praktiker", JUMO GmbH & Co. KG, Fulda, Germany
- Trolltech 2004, QT application framework und Klassenbibliothek, <http://www.trolltech.com/>
- Wooldridge M., Jennings N.R. 1995, Proceedings of 1994 Workshop on Agent Theories, Architecture, and Languages, "Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey, Intelligent Agents"