

Smart grid voor comfort

Er vindt onderzoek plaats naar een nieuwe regelstrategie gebaseerd op de toepassing van een draadloos sensor netwerk dat is gekoppeld aan het smart grid. Doel van deze regelstrategie is om op gebruikersniveau energie te kunnen besparen met behoud of zelfs verbetering van het individueel comfort. Er zijn verschillende scenario's voor individueel comfort en energiegebruik van apparatuur met behulp van agents die voor de aansturing kunnen zorgen. Zo wordt de kern van de energievraag geoptimaliseerd. De doorwerking hiervan tot op het niveau van woning/gebouw en de koppeling met het externe elektriciteitsnet kan vervolgens worden geoptimaliseerd.

Prof.ir. W. (Wim) Zeiler^{1,3}, ing. D.R. (Derek) Vissers¹, ing. H. N. (Rik) Maaijen¹, prof. ir. W.L. (Wil) Kling², ir. J.A.J. (Joep) van der Velden³, drs. J.P. (Jan-Peter) Larsen MBA⁴; 1.TU Eindhoven, Faculteit Bouwkunde, 2.TU Eindhoven, Faculteit Electrical Engineering, 3.Kropman, 4.Sense Observation Systems

Installaties in de gebouwde omgeving vragen 40% van de energie in Nederland. Het energiegebruik in gebouwen is aanzienlijk hoger dan nodig is voor het comfort van de gebruikers. Het nauwkeurig optimaliseren en bewaken van individueel comfort en energiestromen in gebouwen en wijken gebeurt in de praktijk nog niet. Het beoogde comfort en de voorziene energiegebruiksprestaties van het gebouwoontwerp worden nu in de praktijk niet gehaald. Dit resulteert in meer energiegebruik, meer ziekteverzuim en minder presteren van de mensen. De oorzaken voor de mindere prestaties van het gebouw en de installaties zijn divers. Ze liggen hoofdzakelijk op het vlak van de toegepaste techniek en het onvoldoende rekening houden met het gedrag van de gebruikers. Juist dat laatste is van groot belang. In het algemeen is de rol van de gebruiker en het daaruit volgende gebruik gerelateerde energiegebruik een zaak van energiemanagement. De nood-

zaak om het energiegebruik van de bewoners mee te nemen in de regelstrategie neemt toe bij de ontwikkeling van ambitieuze energiezuinige gebouwen. Optimaler gebruik van energie in de gebouwde omgeving, waarbij er optimale afstemming tussen vraag (de werkelijke individuele behoefte) en aanbod plaats vindt, vereist nieuwe vormen van besturingstechnologie. Comfortinstallaties dienen niet alleen gekoppeld te zijn aan dynamische real-time informatie over beschikbaarheid, duurzaamheid en prijsniveau van de energie, maar juist ook aan de veranderende vraag van de mensen. Dit vereist de vertaling van comfortprofielen en 'human behaviour'-modellen in verschillende scenario's voor regelstrategieën van een 'multi agent'-systeem met kritische prestatie-indicatoren als utiliteitsfunctie. Om de gebruikers met verschillende behoeften toch een goed comfort aan te kunnen

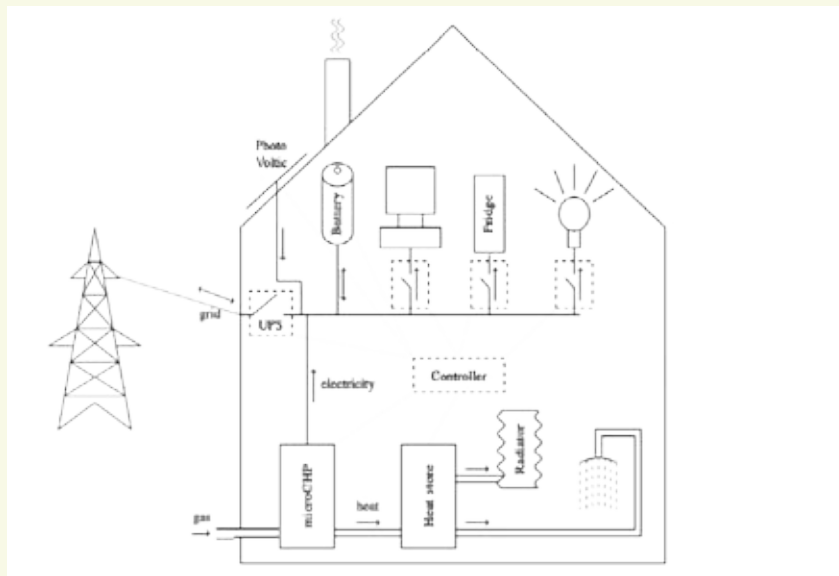
bieden, dienen er mogelijkheden te zijn om het binnenklimaat individueel aan te passen aan hun wensen. Deze functies zijn te combineren met een energiemanagementsysteem op ruimteniveau. Onder energiemanagement op ruimteniveau wordt verstaan het meten van energiestromen en het energie-efficiënt sturen van (klimaat)installaties en elektrische apparatuur in de werkruimte. Te denken valt aan het schakelen van verlichting op basis van aanwezigheid, klimaatvoorzieningen geregeld op individueel comfort- en gebruiksprofielen en het dimmen van verlichting op basis van het individuele lichtbehoefteprofiel. Gewoonlijk worden echter eenvoudige benaderingen toegepast voor de comfortbehoefte van de gebruikers en hun gebruik van elektrische apparatuur [1], zie figuur 1 en 2. Hiervoor is het nodig preciezer te kijken naar de individuen op hun werkplek en hun persoonlijke comfortbeleving. Van belang zijn niet

alleen de instelling van de ruimtethermostaat maar ook de werkelijke waarden die heersen bij de gebruiker. De energietoevoer naar het gebouw kan dan beter afgestemd worden op de veranderingen in comfortbehoefte of werkomstandigheden van de persoon en het gedrag van het gebouw zelf door veranderingen in de weerscondities.

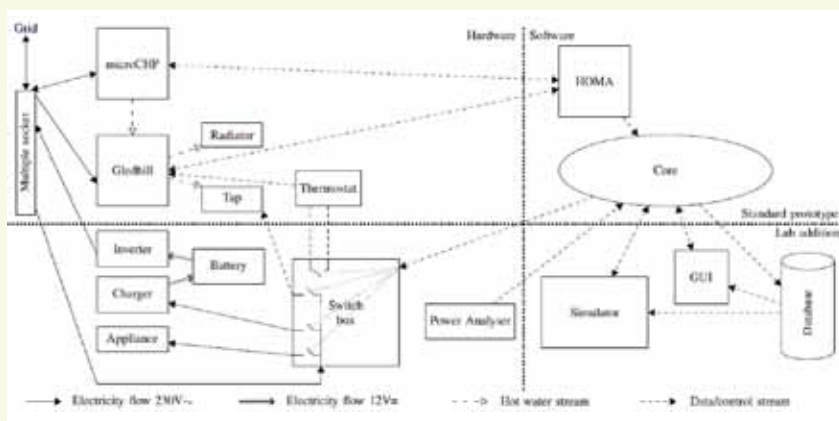
De toepassing van goedkope draadloze sensornetwerken biedt hiervoor een praktische oplossing. Het wordt dan mogelijk om energieaanbod en energievraag beter op elkaar af te stemmen en te personaliseren, om zo minder energie te verspillen en het individueel comfortniveau te verhogen. Maar er is meer nodig dan alleen het automatisch regelen van temperaturen in een kantoor of gebouw. Door steeds meer functies te koppelen aan het klimaatregelsysteem, ontstaan mogelijkheden om de functionaliteit verder uit te breiden:

- integratie van de sturing van elektrische apparaten;
- dynamische inzet en bewaking op basis beschikbaarheid, duurzaamheid, rendement;
- energiebeheer en energieoptimalisatie van bestaande systemen;
- comfortbeheer en -bewaking op basis individuele comfortprofielen;
- energiemanagement op gebouw-, ruimte- en gebruikersniveau.

Vooraf de koppeling van de door de gebruiker ingeschakelde elektrische apparatuur met het smart grid is een belangrijke volgende stap. Daarbij krijgt het energiemanagementsysteem in potentie de mogelijkheid om het deel achter de meter van het elektrische smart grid te kunnen verzorgen. Dit onderzoek richt zich op de interactie met het smart grid met behulp van bestaande draadloze 'low cost' sensornetwerken en actuatoren voor energiemanagement in kantoorgebouwen. In het bijzonder de toepassing van smart grid-functies in combinatie met multi agents in een bestaand kantoorgebouw met een eigen gebouwbeheersysteem, laat de relevantie zien van de beoogde applicatie voor comfort- en energiemanagement. Naast de toepassing van de smart grid-technologie is het van groot belang geavanceerdere regelstrategieën voor energiemanagement te ontwikkelen; niet alleen ten behoeve van het energiegebruik maar juist voor het comfortmanagement. Het project beoogt de noodzakelijke kennis van mogelijke structuren en scenario's te ontwikkelen om de dienstverlening te versterken van duurzame comfort/energie in de gebouwde omgeving. Op deze wijze wordt de kern van het proces geoptimaliseerd, waarna de doorwerking ervan tot op het niveau van woning/gebouw en de koppeling met het externe elektriciteitsnet kan



-Figuur 1- Model van de energiesystemen van een woonhuis [1]



-Figuur 2- Een schematisch overzicht van de hard- en software van een woonhuis [1]

worden geoptimaliseerd.

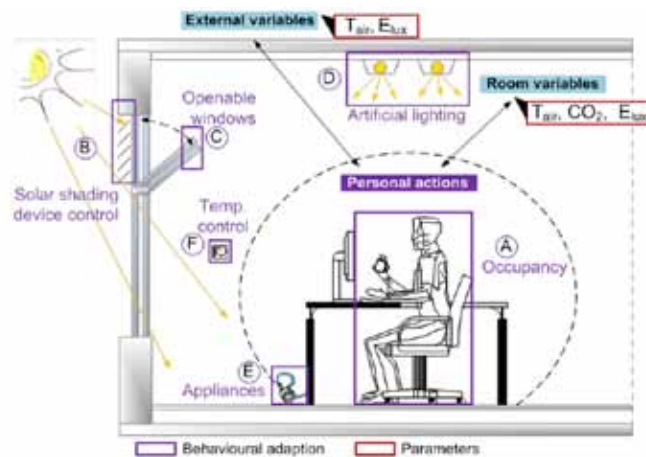
INTERNATIONALE STAND DER TECHNIEK

Het meest recente onderzoek op het gebied van comfort kijkt naar lokale sensaties van de individuele lichaamsdelen en thermoregulatie met huidtemperatuurvoorspellingen [2]. De interactie tussen binnenklimaat en huid wordt bij normale kantoorcondities grotendeels bepaald door bij de gemiddelde stralingstemperatuur. Daardoor is er een groot effect van de gemiddelde stralingstemperatuur op het energiegebruik van de kantoren [3]. Door de stralingstemperatuur te meten met goedkope infraroodcamera's moet het mogelijk zijn om door 'image post'-processing de energiestromen en de temperatuurverdelingen te verkrijgen met een voorspelling van het ervaren

comfort [4]. Bij het optimaliseren van de reacties op de individuele comfortbelevingsverschillen blijkt dat er energiebesparingen mogelijk zijn van 25% bij verhoging van het ervaren individuele comfort [5, 6]. Thermisch comfort kan alleen worden bereikt als de gebruikers effectief controle hebben over hun eigen thermische omgeving [7]. Dit vraagt om de ontwikkeling van 'Individueel Controlled Systems (ICS)' met verschillende lokale verwarmings/koelingsopties [8]. De ideevorming over het temporale verloop van de individuele comfortvraag staat nog maar in de kinderschoenen. Door [9] is een actueel overzicht gegeven van de ontwikkelingen op het gebied van energie- en comfortmanagement in de gebouwde omgeving: Fuzzy Logic, Neurale Netwerken, 'Neuro Fuzzy'-systemen en dergelijke. Hierbij wordt als laatste ontwikkeling de

'Ambient Intelligence' aangegeven, waarbij de aanwezigheid van gebruikers en hun behoeften worden waargenomen. In het algemeen wordt de nadruk gelegd op simulatie en technologie. De mens raakt hierbij weer op de achtergrond. De mens wordt vaak weergegeven door gebruik te maken van het PMV-model van [10] of van adaptieve modellen die daarop gebaseerd zijn [11, 7]. Deze worden soms vereenvoudigd tot 'memberships'-functies in een persoonsafhankelijk fuzzy-subsysteem, die dan de individuele gebruiker vertegenwoordigt. Een voorbeeld hiervan is het TCL (Thermal Comfort Levels) model zoals beschreven in [12].

De inzet van intelligente, voorspellende regelingen gebaseerd op agenttechnologie lijkt mogelijkheden te bieden om op basis van scenario's tot een actieve modellering te komen die gebruikt kan worden voor verdere optimalisering van comfort en energie. De agents zijn lokaal geïnstalleerde informatiesystemen die autonoom het comfort en de energie-infrastructuur kunnen aansturen. Zo kan de informatie uit de gebouwen gebruikt worden voor het optimaliseren van de aansturing van de energie-infrastructuur. Comfort- en gedragsprofielen kunnen worden opgezet op basis van de behoeften van de individuele gebruiker. Die kunnen de basis vormen voor de inzet van specifieke agent modules. De afstemming van momentane en toekomstige vraag en aanbod zijn van groot belang voor de efficiëntie van een energieconcept. Het uiteindelijke doel is om dit als product bij het Scada platform InsiteView of als dienst bij beheerscontracten te kunnen aanbieden aan opdrachtgevers. Naast energiebesparing is de ontzorging van de comfortproblematiek voor opdrachtgevers het einddoel. Door de preferenties van gebruikers als utiliteitsfuncties voor multi agents te gebruiken en de toepassing van draadloze multisensortechniek ontstaan er nieuwe mogelijkheden voor het optimaliseren van individueel comfort en energiegebruik. De technologische stap die gemaakt moet worden is het maken van een effectieve combinatie van comfortprofielen en human behaviour-modellen. Daarin is ook opgenomen het gebruik van elektrische apparatuur die als basis kan dienen voor de gewenste comfort-energie optimalisatiestrategie. Tot op dit moment wordt in de praktijk het gebruikersgedrag niet meegenomen in de regelstrategie voor kantoorgebouwen en dus ook niet de energieconsequenties van het gebruikersgedrag. Terwijl juist de aanwezigheid en het gedrag van de gebruikers een grote invloed heeft op ruimteverwarming, koeling, verlichting en het verbruik van elektrische apparatuur [13] en dus op de energieprestatie van een gebouw [14].



-Figuur 3- Persoonlijke actie van een gebruiker en de fysieke parameters die het comfortniveau van de persoon beïnvloeden

Het meenemen van het menselijk gedrag is daarom van groot belang en moet gebaseerd zijn op de psychologische en fysieke behoeften van de mensen [15]. In deze context kan 'user behaviour' gedefinieerd worden als de aanwezigheid van de personen in een werkplek omgeving in het gebouw en door de acties die de personen ondernemen [14].

■ FUNCTIONELE AGENT-STRUCTUUR

Vanuit de ervaring uit eerdere onderzoeksprojecten zal in eerste instantie de agenttechnologie als veelbelovende technologie worden onderzocht. Een sterkte/zwakte-analyse en een overzicht van mogelijkheden volgt hieruit. Dit vormt de basis voor de besluitvorming voor de bepaling van de softwarestructuur om de gewenste functionaliteit in te kunnen realiseren.

Vervolgens kan heel gericht gekeken worden naar de input, de functionele modules en de output. In de analyse kunnen vervolgens stapsgewijs keuzes gemaakt worden welke functionele modules daadwerkelijk ingezet zullen worden en welke in- en outputparameters daarvoor benodigd zijn om de functionaliteit te realiseren. Hierdoor wordt het mogelijk om verschillende scenario's te ontwikkelen, waarbij steeds stap voor stap de functionaliteit wordt uitgebreid. Er wordt dus optimaal recht gedaan aan de randvoorwaarde om met zo laag mogelijke kosten, zowel qua investering als exploitatie, het energiemangement te realiseren. Immers, de verschillende technische maatregelen zijn onderling door vergelijking van de uitkomsten van de scenario's te beoordelen op effectiviteit. Hierbij zal sprake zijn van verschillen in comfortniveau en energieprestaties. Om de effectiviteit van de verschillende maatregelen in het kader van het

energiemanagement te kunnen bepalen is het van belang de uitgangssituatie goed te kennen. Deze basissituatie vastgelegd in de beschrijving van het energiegebruik en comfortniveau van de gebruikers. Dit vormt de basis voor het stapsgewijs onderzoek naar de effecten van de maatregelen ten opzichte van de huidige uitgangssituatie.

Vanuit deze basis wordt de softwarestructuur ontwikkeld met agents voor het matchen van vraag en aanbod voor diverse informatiestromen en de integrale optimalisering van de inzet van comfortprofielen en behavior modellen bij comfortinstallaties. Vervolgens wordt de inventarisatie/categorisatie uitgewerkt voor vraag- en aanbodmatching en optimalisatiestrategieën voor de inzet van energie en het blijven voldoen aan de te verwachten comfortbehoefte.

■ COMFORT EN GEDRAG

De verschillende functionaliteitsscenario's worden schematisch bepaald. Hierbij bestaat het scenario 0 uit de bestaande situatie met bijbehorende regeling. Vervolgens wordt de functionaliteit stap voor stap in ieder scenario verder uitgebreid met als doelstelling het gewenste individuele werkklimaat met de benodigde apparatuur steeds energiezuiniger te kunnen laten functioneren.

Op verschillende niveaus van abstractie worden functionele representaties van het gebouw en zijn bewoners gemaakt. Eerst worden eenvoudige representaties van het proces gemaakt om de interrelaties tussen de verschillende niveaus in het gebouw te bestuderen: gebouwniveau (mogelijkheden van energietoevoer vanuit de energie-infrastructuur en het omzetten van duurzame energie in het gebouw in relatie tot weersverwachting en huidige weersituatie); ruimteniveau (energie-

uitwisseling met de omgeving, afhankelijk van de buitencondities en de interne warmteproductie); werkplekniveau (werkplekcondities en energievraag van elektrische applicaties) en gebruikersniveau (bepaalt de verschillende comfortbehoefte van individuen en de resulterende energiebehoefte), zie figuur 3.

Gebaseerd op de abstracte representatie van de gebruiker, werkplek en ruimte kunnen de invloeden van verschillende karakteristieke parameters voor comfort- en energiegebruik worden gemeten. In een 'rapid prototyping'-benadering worden procesrepresentaties op verschillende niveaus gebouwd. Dit zal de basis vormen voor herdefinieren van de verschillende agenten in het 'multi agent'-procesbeheersysteem. Door gebruik te maken van gegevens van een werkelijk gebouw en haar gebruikers is het mogelijk om het model te verifiëren met de werkelijke situatie. Door de koppeling te maken met het gebouwbeheersysteem komt alle benodigde informatie beschikbaar en kan het gedrag van het model bestudeerd worden en vergeleken met de historische data van voor de interventie. In analogie hiermee en de aanpak van [16] is een protocol stack ontworpen dat bestaat uit de volgende lagen;

- user layer: definieert hoe een gebruiker toegang krijgt tot het system door de user interface;
- service layer: definieert de regels waarmee het systeem de diensten verleent en aanstuurt;
- profiel layer: bevat alle profielen van gebruikers, 'sensor nodes', 'powerline control devices', en regels;
- sensor layer: regelt de acties van de 'sensor nodes';
- actuator layer: biedt een abstractie van elektrische apparaten aan de hogere lagen.

De inzichten van het modelleren van het comfort op individueel niveau, werkplekniveau en ruimteniveau, leidt tot een concept voor monitoring en management van het comfort en de energie in een echt gebouw op een gedetailleerdere en nauwkeurigere wijze.

RESULTAAT

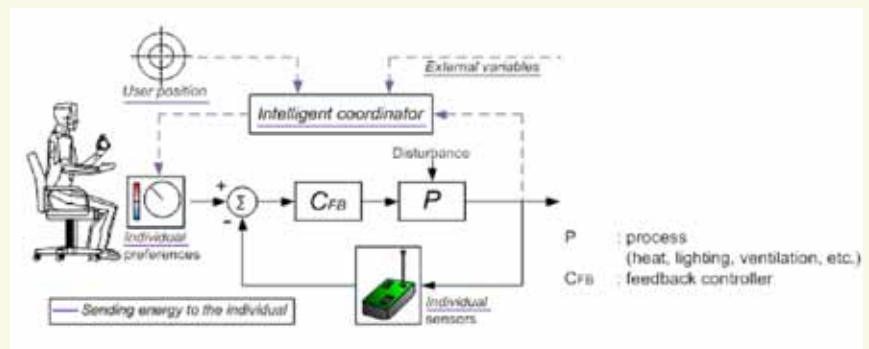
Het primaire resultaat is een regelstrategie op gebruikersniveau om op basis van de werkelijke comfort- en energiebehoefte comfortinstallaties en elektrische apparaten aan te sturen. Hierdoor ontstaan nieuwe functionele regeltechnische beheersmodules voor de optimalisatie van comfort en energie. Deze regelstrategie kan toegepast worden in een 'multi agent'-structuur waarmee het comfort-energiemanagementsysteem verder wordt

uitgebreid. Op basis van het definiëren van zogenaamde Kritische Prestatie Indicatoren (KPI) kan de utiliteitsfunctie van het 'multi agent'-systeem beter gedefinieerd worden, wat de stabiliteit van het systeem ten goede komt. Het systeem kan als module bij een gebouwbeheerplatform komen. Dit platform wordt verder uitgebreid met andere functionele modules om meer dynamische invloedsfactoren van gebruiker, gebouw, installaties en omgeving mee te nemen.

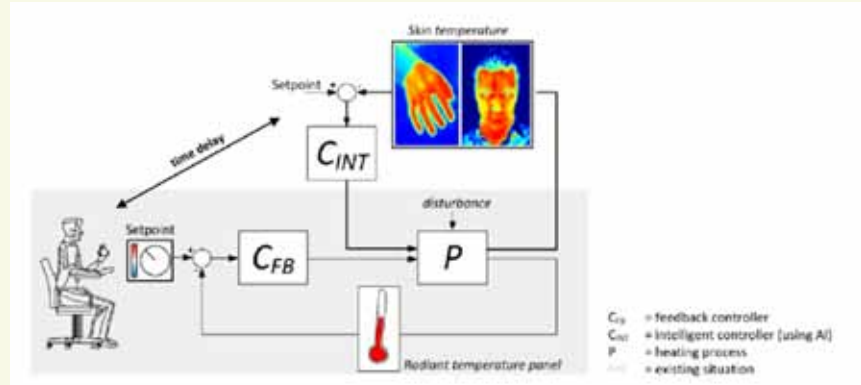
De deelnemers aan het onderzoeksproject zijn TU/e Faculteit Bouwkunde en TU/e Faculteit Electrical Engineering, Kropman Installatietechniek, Sense, Alliander en Enexis. De laatste bedrijven participeren in de klankbordgroep en hebben verder geen actieve onderzoeksrol binnen het project. Door de koppeling van een geoptimaliseerd gebouwbeheersysteem en de te ontwikkelen functionele agent module wordt de beoogde opzet onderzocht in een testopstelling in het Kropman Breda kantoor, om zo de energiereductie op gebruikersniveau te demonstreren en te bepalen. Het simuleren van de energiestromen op wijkniveau gebeurt in het laboratorium van de faculteit Electrical Engineering van de TU. De bedoeling is om een experimentele

werkplek te ontwerpen en te bouwen met een individueel gecontroleerd klimaat, om zo de specifieke benadering van comfort en energie te optimaliseren in samenhang met het smart grid buiten het gebouw. Hierbij zal gebruik gemaakt worden van onder meer:

1. WSN (Wireless Sensor Network) om klimaatfactoren te meten (CO₂, temperatuur, licht, etc) maar ook het gedrag van mensen in gebouwen (presence, beweging, kleding, etc.). Op basis van continue feedback vanuit deze draadloze sensornetwerken wordt de klimaatbeïnvloeding afgestemd op de actuele en verwachte omstandigheden, zie figuur 4.
2. Preferentie modellering van gebruikers. Dit zijn geavanceerde gepersonaliseerde 'human behavior'-modellen die niet over gebruikers heen worden ontwikkeld maar ontstaan uit een interactie met de gebruiker. Door de interactie van gebruikers met het systeem kunnen individuele preferenties van mensen in kaart worden gebracht.
3. Actuariemodellen/'energy control'-modellen op basis van feedback uit preferentiemonitoring van gebruikers, zie figuur 5.



-Figuur 4- Draadloze controller agents en de intelligente coordinator om de menselijke bewegingen op te nemen en de processturing van de installaties



-Figuur 5- Human-in-the-loop processturing op basis van 'feedback' gebaseerd op de huidtemperatuur

Gebouwmanagementsystemen dienen in staat te zijn om hun regelstrategieën dynamisch aan te passen aan continue input over gebruikerstatus en preferenties. Dit vereist ook een fundamentele vernieuwing van de bestaande gebouwbeheersystemen zoals die nu worden toegepast.

4. Het gebruik van agent-technologie om te komen tot een flexibele en schaalbare integratie van gebouwmanagementsystemen, gebruikerspreferenties en feedback vanuit WSN.
5. Optimalisering van het totale elektriciteitsgebruik en integratie in het elektriciteitsdistributiesysteem.

■ ECONOMISCH PERSPECTIEF

Installatiebedrijven richten zich niet alleen op de besturing de klimaatinstallaties (comfort) en het gebouw (verlichting, toegangscontrole), maar meer en meer op de besturing van energiesystemen. De Technische Universiteit onderzoekt het individueel comfort en de benodigde energie daarvoor. Het nauwkeurig optimaliseren en bewaken van individueel comfort en energiestromen wordt in de praktijk nog niet gedaan.

Het energiemangement in gebouwen is verre van optimaal en gebruikmaking van de nieuwe mogelijkheden van ICT kunnen mondiaal tot €600 miljard besparen [17]. Het potentieel om ICT toe te passen is goed beschreven [18] maar in veel literatuur die focust op de ICT wordt vaak de rol van van de gebruiker over het hoofd gezien bij het realiseren van energiebesparing. Optimaal procesbeheer is essentieel voor de energiestructuur van gebouwen [19]. Daarvoor moeten nieuwe energiemangementssystemen worden ontwikkeld die niet alleen het energiegebruik optimaliseren maar dit bovendien doen in combinatie met het comfort van de gebruikers. Immers, het uitzetten van installaties geeft een maximale besparing maar ook een maximaal discomfort. De nieuwste inzichten op het gebied van individueel lokaal comfort evenals voorspellende regelingen op basis van weersverwachtingen, kunnen door het toepassen van 'multi agent'-systemen gekoppeld worden aan bestaande gebouwbeheersysteemplatforms. De ontwikkelde agent-technologie voor energiemangement zal in eerste instantie worden ingezet als 'process control'- of 'user level'-module bij een 'Scada'-pakket boven gebouwbeheersystemen. Dit wordt de basis van de koppeling van het intelligente draadloze sensornetwerk van het gebouw met het smart grid buiten het gebouw. Binnen het project wordt de wetenschappelijke kennis van gebouwgebonden installaties gecombineerd met de wetenschappelijke kennis van de elektrische infrastructuur,

het smart grid, door samenwerking tussen de Faculteit Bouwkunde en de Faculteit Electrical Engineering.

■ LITERATUUR

1. Molderink A., Bakker V., Bosman M.G.C., Hurink J.L., Smit G.J.M., 2010, A Three-Step Methodology to Improve Domestic Energy Efficiency. In: Proceedings of the 2010 IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference, 19-21 Jan 2010, Gathersburg, USA.
2. Munir A., Takada S., Matsushita T., 2009, Re-evaluation of Stolwijk's 25-node human thermal model under thermal-transient conditions: Predictions of skin temperature in low-activity conditions, *Building and Environment* 44 9 (2009) 1777-1787
3. Kang D.H., Mo P.H., Choi D.H., Song S.Y., Yeo M.S., Kim K.K., Effect of MRT variation on the energy consumption in a PMV-controlled office, *Building and Environment* 45 (2010) 1914-1922
4. Revel G.M., Sabatini E., 2010, A new thermography based system for real-time energy balance in the built environment, *Proceedings Clima 2010*, May 10-12, Antalya
5. Buitenhuis H., Drissen R., 2007, Installatieoptimalisatie Academie voor Engineering, Vraaggestuurd regelen als energiezuinige strategie, *Verwarming Ventilatie plus*, maart 2007
6. Oeffelen E.C.M., Zundert K. Van, Jacobs P., Persoonlijke verwarming in kantoorgebouwen, *TVVL Magazine*, Januari 2010
7. Hoof J. van, 2008, Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?, *Indoor Air*, 2008:18 182-201
8. Watanabe S., Melikov A.K., Knudsen G.L., 2010, Design of an individually controlled system for an optimal thermal microenvironment, *Building and Environment* 45 (2010) 549-558
9. Dounis A.I., Carascos C., 2009, Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 1246-1261
10. Fanger P.O., 1972, *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*, McGraw-Hill, New York
11. Schwede D.A., 2007, Interpreting Fanger's Comfort Equation within the Adaptive Paradigm, *Proceedings PLEA 2007*, the 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture.
12. Mirinejad H., Sadati S.H., Ghasemiam M., Torab H., 2008, Control Techniques in Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) Systems, *Journal of Computer Science* 4(9): pp 777-783
13. Page J., Robinson D., Morel N., Scartezzini J.L., 2007, A generalized stochastic model for the simulation of occupant presence, *Energy and Buildings*, 40 (2007) 83-98
14. Hoes P., Hensen J.L.M., Loomans M.G.L.C., Vries B.de, Bourgeois D., 2009, User behavior in whole building simulation, *Energy and Buildings* 41 (2009) 295-302
15. Tabak V., Vries B. de, 2010, Methods for the prediction of intermediate activities by office occupants, *Building and Environment* 45 (2010) 1366-1372
16. Yeh L.W., Wang Y.C., Tseng Y.C., 2009, iPower: an energy conservation system for intelligent buildings by wireless sensor networks, *International Journal of Sensor networks*, Vol.5 (1) 1-10
17. Webb M., 2008, Smart 2020: Enabling the low carbon economy in the information age, report of The Climate Group
18. Røpke I., Christensen T.H., Jensen J.O., 2010, Information and communication technologies – A new round of household electrification, *Energy Policy* 38 (2010) 1764-1773
19. Yu Z., Zhou Y., Deter A., 2007, Hierarchical Fuzzy Rule-based control of renewable energy building systems, *Proceedings Cisbat 2007*, Lausanne