

Załącznik 3

Autoreferat

dr inż. Igor Wojnicki

21 czerwca 2018

1 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- Akademia Górniczo-Hutnicza im.S.Staszica w Krakowie,
doktorat na wydziale EAIiE w Katedrze Automatyki, 2004: "A Rule-based Inference Engine Extending Knowledge Processing Capabilities of RDBMS" ("Regułowa Maszyna Wnioskująca rozszerzająca możliwości przetwarzania wiedzy Systemów Zarządzania Relacyjnymi Bazami Danych"),
dziedzina: nauki techniczne, dyscyplina: informatyka, specjalność: informatyka.
- Akademia Górniczo-Hutnicza im.S.Staszica w Krakowie,
magisterium na wydziale EAIiE w Katedrze Automatyki, 2000: "Design and Implementation of a Graphical User Interface for Computer Aided Logical Design of Kheops Knowledge" ("Projekt i implementacja graficznego interfejsu użytkownika wspomagającego logiczne projektowanie bazy wiedzy dla systemu Kheops Based System."),
kierunek: automatyka i robotyka, specjalność: informatyka w sterowaniu i zarządzaniu.

2 Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 1/12/2005–
Akademia Górniczo-Hutnicza im.S.Staszica w Krakowie, Wydział EAIiB,
stanowisko: adiunkt,
- 12/8/2004–12/8/2005
University of Missouri – St.Louis, Missouri, USA, Department of Mathematics and Computer Science,
stanowisko: assistant professor,
- 15/8/2003–11/8/2004
Southern Illinois University Edwardsville, Illinois, USA, Department of Computer Science,
stanowisko: lecturer
- 15/8/2002–15/8/2003
University of Missouri – St.Louis, Missouri, USA, Department of Mathematics and Computer Science,
stanowisko: lecturer (visiting professor rank),
- 1/10/1999–30/11/2005
Akademia Górniczo-Hutnicza im.S.Staszica w Krakowie, Wydział EAIiE,
stanowisko: asystent,



3 Wskazanie osiągnięcia

Tytuł osiągnięcia: Opracowanie koncepcji *dualnej gramatyki grafowej (Dual Graph Grammar)* i jej zastosowanie w rozwiązywaniu problemów ekspresji semantycznej w procesie projektowania i zarządzania systemami sterowania.

3.1 Publikacje

Osiągnięcie naukowe udokumentowane jest w postaci 12 publikacji powiązanych tematycznie. Poniżej przedstawiam 6 z nich znajdujących się na liście A czasopism MNiSW.

- H1** Igor Wojnicki i Leszek Kotulski. “Empirical Study of How Traffic Intensity Detector Parameters Influence Dynamic Street Lighting Energy Consumption: A Case Study in Krakow, Poland”. en. W: *Sustainability* 10.4 (kw. 2018), s. 1221
IF: 1.789, punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2017): 20
- H2** Igor Wojnicki i Leszek Kotulski. “Improving Control Efficiency of Dynamic Street Lighting by Utilizing the Dual Graph Grammar Concept”. en. W: *Energies* 11.2 (lut. 2018), s. 402
IF: 2.262, punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2017): 25
- H3** Igor Wojnicki, Leszek Kotulski, Adam Sędziwy i Sebastian Ernst. “Application of distributed graph transformations to automated generation of control patterns for intelligent lighting systems”. W: *Journal of Computational Science* 23 (list. 2017), s. 20–30
IF: 1.748, punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2017): 30
- H4** Igor Wojnicki, Leszek Kotulski, Adam Sędziwy, Sebastian Ernst i Barbara Strug. “Two-level agent environment for intelligent lighting control”. en. W: *International Journal of Materials and Product Technology* 53.2 (maj 2016), s. 187–201
IF: 0.488, punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2016): 15
- H5** Igor Wojnicki, Sebastian Ernst i Leszek Kotulski. “Economic Impact of Intelligent Dynamic Control in Urban Outdoor Lighting”. W: *Energies* 9.5 (2016), s. 314
IF: 2.262, punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2016): 25
- H6** Igor Wojnicki, Sebastian Ernst, Leszek Kotulski i Adam Sędziwy. “Advanced street lighting control”. W: *Expert Systems with Applications* 41.4, Part 1 (mar. 2014), s. 999–1005
IF: 2.240, punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2014): 35

Poniżej przedstawiam pozostałe 6 publikacji, indeksowanych przez Thomson Reuters Web of Science.

- H7** Igor Wojnicki i Sebastian Ernst. “Smart Lighting Control Architecture and Benefits”. en. W: *Intelligent Information and Database Systems*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham, mar. 2018, s. 331–340
punktacja MNiSW, 2017: 15
- H8** Igor Wojnicki i Leszek Kotulski. “Street Lighting Control, Energy Consumption Optimization”. en. W: *Artificial Intelligence and Soft Computing*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham, czer. 2017, s. 357–364
punktacja MNiSW (2017): 15
- H9** Igor Wojnicki. “Control Planning for Autonomous Off-Grid Outdoor Lighting Systems Based on Energy Consumption Preferences”. en. W: *Artificial Intelligence and Soft Computing*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham, czer. 2016, s. 749–757
punktacja MNiSW (2016): 15

- H10** Igor Wojnicki, Leszek Kotulski i Sebastian Ernst. “On Scalable, Event-Oriented Control for Lighting Systems”. W: *KES-AMSTA*. red. Dariusz Barbucha, Manh Thanh Le, Robert J. Howlett i Lakhmi C. Jain. T. 252. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. IOS Press, 2013, s. 40–49
punktacja MNiSW (2013): 10
- H11** Igor Wojnicki i Leszek Kotulski. “Controlling Complex Lighting Systems”. en. W: *Complex Systems and Dependability*. Red. Wojciech Zamojski, Jacek Mazurkiewicz, Jarosław Sugier, Tomasz Walkowiak i Janusz Kacprzyk. T. 170. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, s. 305–317
punktacja MNiSW (2012): 10
- H12** Igor Wojnicki. “Implementing general purpose applications with the rule-based approach”. W: *RuleML’2011: Proceedings of the 5th international conference on Rule-based reasoning, programming, and applications*. Barcelona, Spain: Springer-Verlag, 2011, s. 360–367
punktacja MNiSW (2012): 10

Aktualne informacje z raportu cytowań sporządzonego przez Thomson Reuters Web of Science dotyczące moich publikacji przedstawione są poniżej.

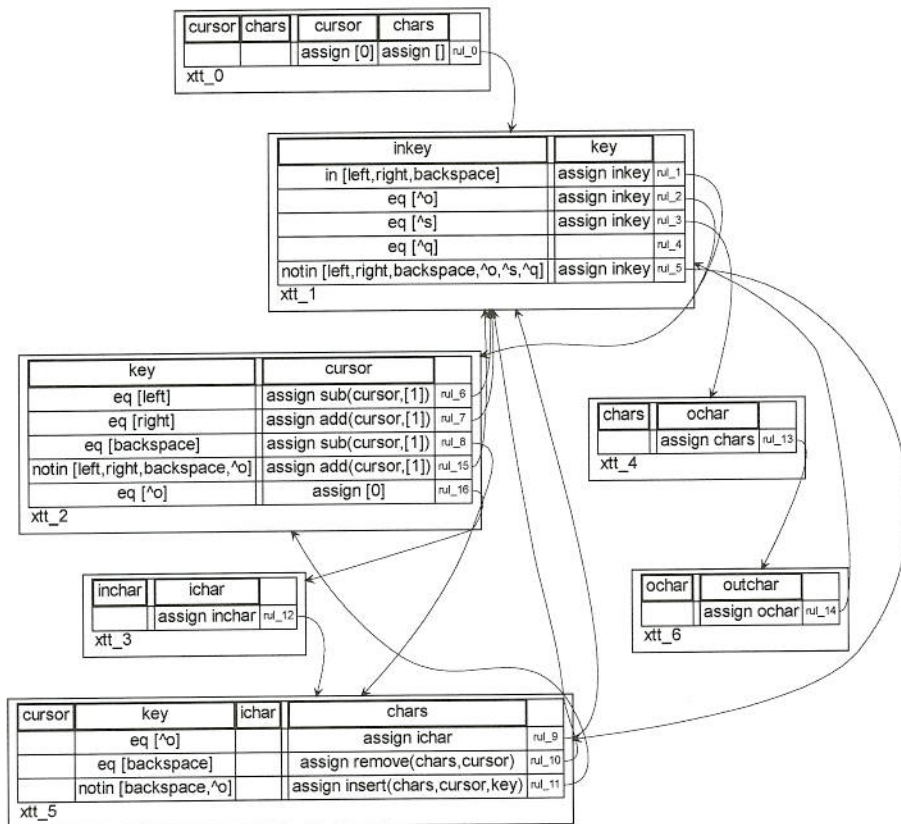
liczba publikacji	29
h-indeks	5
liczba cytowań	79
liczba cytowań bez samocytowań	37

3.2 Omówienie wyników

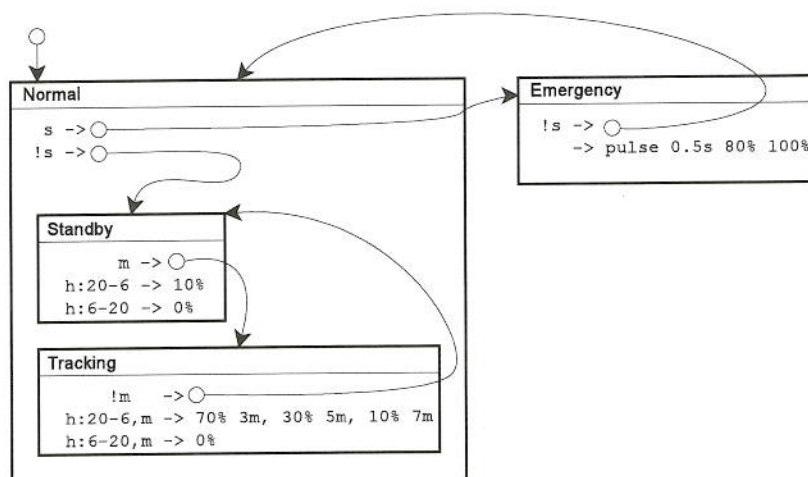
Głównym osiągnięciem naukowym, w realizowanych przeze mnie badaniach, jest opracowanie koncepcji *dualnej gramatyki grafowej* (ang. *Dual Graph Grammar*). Umożliwia ona uporządkowanie i uproszczenie opisu modelowanego problemu poprzez jego separację na dwa odrębne grafy zdefiniowane przez osobne gramatyki. Gdy podział na dwie gramatyki jest niewystarczający możliwe jest uogólnienie tej koncepcji na zbiór parami dualnych gramatyk. Ponadto, wprowadziłem warunki walidacji, których spełnienie umożliwia synchronizację wiedzy zawartej w obu grafach, co sprzyja niezależnemu ich przetwarzaniu. Przekłada się to bezpośrednio na zwiększenie wydajności przetwarzania przez odpowiednie dopasowanie algorytmu do konkretnej gramatyki oraz zastosowanie współbieżności. Do powstania tej koncepcji przyczynił się szereg badań, które przedstawię poniżej.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora zainteresowałem się tworzeniem metodyk projektowania i programowania złożonych systemów regułowych. Rozwinąłem paradygmat drzew decyzyjnych i tablic decyzyjnych do postaci grafu [H12]. Metodykę tą można zastosować nie tylko do klasycznych systemów regułowych, ale również do tworzenia aplikacji ogólnego przeznaczenia. Struktura bazy wiedzy reprezentowana jest jako graf, w którym węzły są tablicami decyzyjnymi. Przykładowa realizacja odzwierciedlająca aplikację ogólnego przeznaczenia jaką jest edytor tekstu pokazana jest na rys.1. Tablice decyzyjne zbudowane są w oparciu o logikę atrybutową [3]. Spełnienie warunków reguły tj. zaistnienie odpowiednich wartości wskazanych atrybutów, skutkuje decyzją, czyli zmianą wartości innych atrybutów lub przejściem do kolejnej tablicy decyzyjnej. W zaproponowanej notacji graficznej, warunki od decyzji oddzielone są podwójną linią. Przejście reprezentowane jest przez strzałkę. Przykładowo pierwszą regułą tablicy *x_{tt_1}* można odczytać jako: jeżeli atrybut *inkey* ma wartość należącą do zbioru $\{left, right, backspace\}$, to przyporządkuj atrybutowi *key* wartość atrybutu *inkey* i przejdź do tablicy *x_{tt_2}*.

Badania kontynuowałem wprowadzając grafy hierarchiczne do strukturalizacji kontekstów wykonania reguł. Było to zainspirowane i stało się rozwinięciem podejścia Context Based Re-



Rysunek 1: Grafowa reprezentacja bazy wiedzy, węzły są tablicami decyzyjnymi; przykładowa aplikacja ogólnego przeznaczenia będąca edytorem tekstu; zaczerpnięte z [H12].



Rysunek 2: Baza wiedzy z podziałem na hierarchiczne profile (konteksty), zastosowanie do sterowania przestrzeni inteligentnych na przykładzie stacji benzynowej; zaczerpnięte z [H12].

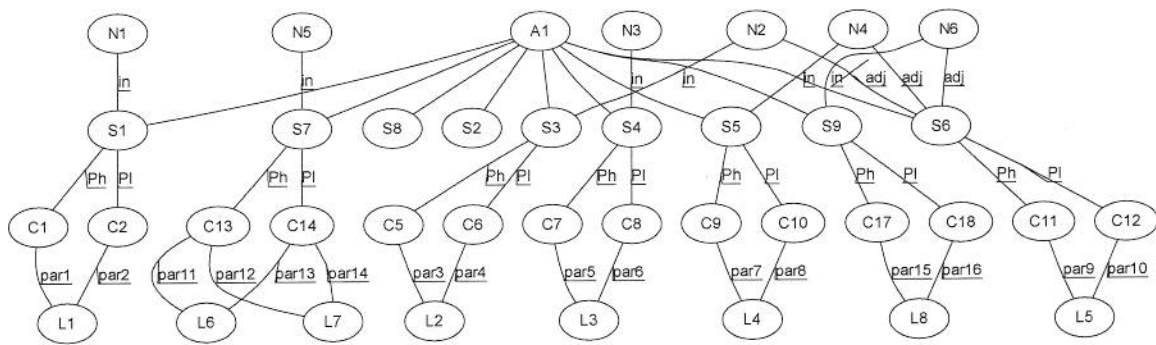
asoning (CxBR) [1]. Praktyczne zastosowanie polegało na zdefiniowaniu logiki sterowania oświetleniem przestrzeni inteligentnych na przykładzie stacji benzynowej [H11]. Dzięki wykorzystaniu ustrukturalizowanej bazy wiedzy reprezentowanej przy pomocy grafu hierarchicznego, możliwe stało się grupowanie reguł na różnych poziomach ogólności, co w praktyce spowodowało rozdzielenie modelowania sytuacji pracy normalnej oraz awaryjnej, z uwzględnieniem dodatkowych podkontekstów w obu sytuacjach. Przykładowy graf pokazany jest na rys.2. W ramach kontekstu, zwanego tutaj profilem, zdefiniowane są reguły lub inne profile. Domyślnym profilem jest praca normalna (*Normal*), co jest oznaczone przez strzałkę w lewym górnym rogu rysunku. Profil *Normal* zawiera podprofile *Standby* oraz *Tracking*. Reguły składają się z warunków, konkluzji oraz opcjonalnej aktywacji wskazanego profilu. Warunki występują po lewej stronie symbolu \rightarrow , konkluzje po prawej stronie, aktywacja profilu reprezentowana jest za pomocą strzałki. Aktywny może być Tylko jeden profil na tym samym poziomie. W tym przypadku aktywny może być *Normal* albo *Emergency*. Jeżeli aktywny jest *Normal* to również może być aktywny jeden z podprofilu tj. *Standby* albo *Tracking*. Reguła pierwsza w profilu *Normal* przełącza aktywny profil na *Emergency* jeżeli atrybut *s*, reprezentujący wykrycie dymu, ma wartość prawdy logicznej. Jeżeli nie wykryto dymu aktywowany jest profil *Standby*, jako rezultat działania drugiej reguły. Pierwsza reguła w profilu *Standby* przełącza podprofil na *Tracking* jeżeli wykryto ruch – wartość prawdy logicznej atrybutu *m* reprezentującego wykrycie ruchu. Ponadto, druga reguła ustawia moc oświetlenia na 10%, jeżeli aktualna godzina, atrybut *h*, mieści się w przedziale między 20, a 6. Jeżeli natomiast aktualna godzina mieści się w przedziale od 6 do 20, wtedy oświetlenie jest wyłączone (trzecia reguła, ustawienie oświetlenia na 0%). Prace zrealizowałem w ramach uczestniczenia w granie Products and Services of a Living Smart Energy City Lab – Alive & KIC-ing (KIC InnoEnergy) w latach 2012-2013.

Dalsze badania prowadziłem w dwóch kierunkach: praktycznym związanym z implementacją przetwarzania grafów w środowisku agentowym, oraz strukturalizacją grafową bazy wiedzy (faktów) o przestrzeni inteligentnej.

Rezultaty zastosowania podejścia agentowego oraz architektura rozwiązania przedstawiona jest w [H4]. Podejście takie umożliwia współbieżne przetwarzanie wiedzy reprezentowanej w postaci grafu. Osiąganymi korzyściami jest skalowalność i efektywność [2].

Strukturalizacja bazy wiedzy została natomiast opisana w [H10], a jej wynikiem jest propozycja etykietowanego grafu dostępności sterowania *Control Availability Graph* (CAG). Propozycja umożliwia reprezentację topologicznie i konfiguracyjnie złożonych systemów oświetleniowych, włączając w to oświetlenie nie tylko ulic, ale także bardziej skomplikowanych przestrzeni takich jak place, skwery itp. Przykład takiego grafu zamieszczony jest na rys. 3. Pokazuje on zależności pomiędzy detektorami ruchu (*N*), segmentami (*S*) na które podzielony jest obszar (*A*), konfiguracjami profili oświetleniowych (*C*) oraz punktami świetlnymi (*L*). Graf reprezentuje przestrzeń *A1*, która podzielona jest na segmenty *S1...S9*. Przykładowo detektor *N5* wykrywa ruch w segmencie *S7*, który może być oświetlany z dużą intensywnością *Ph*, jeżeli aktywowana jest konfiguracja oświetlenia *C13*, albo z niską intensywnością *Pl*, gdy aktywowana jest konfiguracja *C14*. Jeżeli aktywna jest konfiguracja *C13*, wtedy lampa *L6* ustawiona jest na moc zdefiniowaną przez *par11*, natomiast *L7* na *par12*. Zaproponowany graf jest rozwinięciem koncepcji Control System Influence Graph [4]. Co więcej struktura ta może być podzielona z wykorzystaniem *slashed graphs* [5], tak aby dla dużych przestrzeni umożliwić agentową realizację procesu sterowania. Dzięki możliwości podziału grafu zapewniona jest skalowalność procesu sterowania. Natomiast zastosowanie konfiguracji umożliwia przełączania pomiędzy precyzyjnie dobranymi, na drodze obliczeń fotometrycznych, zestawami parametrów świecenia opraw.

Rezultaty dalszych badań dotyczących strukturalizacji bazy wiedzy z wykorzystaniem grafów zawarte są w [H6]. Bazują one na założeniu, że hipergraf reprezentujący przestrzeń architektoniczną, transformowany jest do postaci etykietowanego i atrybutowanego grafu CAG. Komplementarnie do w/w grafu wyspecyfikowany jest zbiór reguł sterowania taką przestrzenią w postaci transformacji grafowych wykorzystujących logikę predykatów. CAG oraz transfor-



Rysunek 3: Strukturalizacja bazy wiedzy o przestrzeni inteligentnej na przykładzie oświetlenia zewnętrznego; Control Availability Graph (CAG); zaczerpnięte z [H10].



Rysunek 4: Graficzna reprezentacja przykładowej produkcji, która realizuje proces sterowania oświetleniem na grafie CAG; zaczerpnięte z [H6].

macje stanowią kompletną bazę wiedzy, na której przeprowadzany jest proces wnioskowania, czego rezultatem są odpowiednie sygnały sterujące reprezentowane w postaci atrybutów. Istotnym osiągnięciem naukowym jest zastosowanie separacji grafu reprezentującego fakty (CAG) od reguł wnioskowania, oraz przedstawienie reguł w postaci transformacji grafowych. Ułatwia to wdrożenie sterowania w nowych miejscach, wystarczy wyspecyfikować CAG, oraz umożliwiałoby użycie tej samej logiki sterującej, gdyż wyraża ona sposób sterowania, a nie faktyczne zależności topologiczne między punktami świetlnymi i sensorami. Rezultatem jest spójny grafowy model strukturalno-semantyczny. Przykładowa produkcja, wykonywana na grafie CAG celem realizacji procesu sterowania, pokazana jest na rys. 4. Produkcja jest wykonana jeżeli lewa strona odpowiada podgrafowi w CAG, takim, że dla węzłów z etykietami K , P , S , C istnieją odpowiednio indeksy: l , m , j i k , takie, że odpowiednie węzły i krawędzie etykietowane są: in , $high$, oraz odpowiednio ustalone są wartości atrybutów podane w nawiasach kwadratowych. Dla węzłów z etykietami K i P jest to atrybut *detected* o wartości *true*, natomiast dla węzłów etykietowanych C jest to atrybut *engaged* o wartości *off*. Wtedy wartość atrybutu *engaged* dla węzła etykietowanego C o indeksie k zmienia się na *on*. Powyższa produkcja reprezentuje regułę: jeżeli jest noc ($Kl[true]$), i wykryto ruch ($Pm[true]$) w (in) segmencie Sj , i konfiguracja definiująca wysoki poziom oświetlenia ($high$) nie jest aktywna ($Ck[off]$), to ją aktywuj ($Ck[on]$).

Szczególnym przypadkiem dla modelowania przestrzeni inteligentnych jest oświetlenie autonomiczne dróg i ulic. Wspomniana autonomia polega na gromadzeniu przez każdy punkt oświetleniowy energii elektrycznej z odnawialnych źródeł za pomocą paneli fotowoltaicznych oraz miniaturowych turbin wiatrowych. Problemem do rozwiązania jest zapewnienie odpowiedniego oświetlenia w zależności od ilości zmagazynowanej energii. Opracowałem koncepcję oraz oprogramowanie, które wykorzystując formalnie zdefiniowane preferencje oświetleniowe oraz informacje o aktualnym stanie naładowania magazynów energii, wyznacza odpowiedni plan sterowania oświetleniem. Zastosowałem grafową reprezentację stanów oraz wnioskowanie wstecz. Badania prowadziłem w ramach grantu FOGA (KIC InnoEnergy), w którym oprócz AGH brały udział firmy Wichary Technik, producent autonomicznych systemów oświetleniowych, oraz EC Systems, firma dostarczająca rozwiązań z zakresu automatyki przemysłowej i analityki danych. W wyniku zastosowania w/w oprogramowania maksymalizowany jest czas pracy systemu oświetleniowego.

Rezultaty badań przedstawione są w [H9].

Modelowanie sterowania oświetleniem zewnętrznym z wykorzystaniem grafów, zaproponowane w [H6], nie tylko usprawnia proces wdrażania, ale również umożliwia analizę rezultatów zależnych od topologii infrastruktury. Są to między innymi rezultaty ekonomiczne, a w szczególności redukcja zużycia energii elektrycznej, która ma istotne znaczenie praktyczne. Grafowy model środowiska posłużył mi jako punkt wyjścia do analizy ekonomicznej oszczędności energetycznych płynących z zastosowania dynamicznego sterowania oświetleniem dróg i ulic na terenie zurbanizowanym w zależności od natężenia ruchu [H5].

Badania przeprowadziłem na rzeczywistej instalacji oświetleniowej będącej wybranym podzbiorem sieci ulic w Krakowie. Zostały one wykonane w ramach grantu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW), przy współpracy z Zarządem Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie: ISE, Pilotażowa modernizacja oświetlenia ulicznego Miasta Krakowa wraz z rozbudową warstwy telemetrycznej, stworzeniem systemu sterowania oraz budową instalacji PV wymiany oświetlenia (2015–2016). Projekt ten obejmował zasięgiem dzielnicę Krowodrza i dotyczył 3768 punktów świetlnych. W ramach projektu odpowiedzialny byłem za realizację zadań dotyczących inteligentnego sterowania.

Dane o natężeniu ruchu były zbierane w okresie jednego roku z detektorów zainstalowanych na skrzyżowaniach (pętle indukcyjne). Wykorzystanie grafów, a w szczególności CAG, okazało się być konieczne do zapewnienia zgodności poziomu oświetlenia z normami oświetleniowymi (PN-EN 13201). Zgodność jest zapewniona dzięki wykorzystaniu koncepcji konfiguracji oświetlenia. Dana konfiguracja określa jaki ma być zbiór nastaw mocy dla punktów świetlnych aby spełnić określoną klasę oświetleniową. Zatem nawiązując do rys. 3, segmenty odpowiadają jednolitym odcinkom drogi lub ulicy, natomiast krawędzie pomiędzy C , a S są etykietowane klasami oświetleniowymi. Konfiguracje punktów świetlnych (moce) wyliczane są na podstawie obliczeń fotometrycznych. Potwierdzone rezultaty pochodzące z silnie zurbanizowanej sieci dróg to 34% oszczędności energii elektrycznej. Jest to pierwszy w skali światowej przypadek zastosowania dynamicznie zmieniającego się poziomu oświetlenia, które jest zgodne z normami. Model formalny w postaci grafu dotyczył całości obszaru projektu tj. 3768 punktów świetlnych. Rozmiar grafu CAG wyniósł 87093 krawędzie i 16589 wierzchołków.

W [H3], w porównaniu z [H6], rozwiązałem dwa problemy: formalnej generacji CAG na podstawie hipergrafu opisującego środowisko (General Environment Model – GEM), oraz rekurencyjnego wnioskowania. GEM oraz CAG zostały formalnie opisane za pomocą gramatyk grafowych oraz zostały zdefiniowane produkcje umożliwiające automatyczne przejście pomiędzy nimi. Zatem aby móc zastosować dynamiczne sterowanie wystarczy transformować GEM do postaci CAG, na którym można wykonywać wnioskowanie prowadzące do odpowiedniego ustalenia parametrów pracy opraw. Aby zapobiec problemowi rekurencyjnego wnioskowania, który może prowadzić do niejednoznaczności stanów oraz problemów z warunkiem stopu algorytmu wnioskującego, wprowadziłem pojęcie *intencji*. Rozszerza ono klasyczny proces wnioskowania wprzód, oparty o generację zbioru konfliktowego oraz wybór reguł z tego zbioru, do postaci dwóch następujących po sobie etapów. Pierwszy etap generuje *intencje*, natomiast drugi etap realizuje działania związane z *intencjami*. Proces wnioskowania kończy się wraz z drugim etapem, co eliminuje zagrożenie wnioskowaniem rekurencyjnym. Ponadto, z uwagi na sformalizowane przejście od GEM do CAG, dookreśliłem zasady etykietowania i atrybutowania grafu. Etykiety używane są do reprezentacji statycznej informacji strukturalnej, natomiast atrybuty do zmieniających się w czasie stanów: sensorów, intencji oraz aktywacji konfiguracji. Transformacje sterujące wpływają jedynie na zmianę wartości atrybutów.

Dzięki analizie zastosowanego modelu grafowego zidentyfikowałem problem wzajemnego wpływu punktów świetlnych oświetlających sąsiadujące przestrzenie [H8] (segmenty drogi lub ulicy). Powoduje to efekt prześwieleń w przypadku zastosowania dynamicznego sterowania. Zaproponowałem rozwiązanie minimalizujące zużycie energii, i prześwieleń, w takich przypadkach, kosztem zwiększenia złożoności grafu CAG. Szacunkowe obniżenie zużycia energii po zastoso-



waniu zaproponowanego podejścia, w przypadku infrastruktury miejskiej, kształtowało się na poziomie 1.7%.

Rozwój sieci sensorycznych powoduje, że infrastruktura pomiarowa staje się coraz bardziej skomplikowana. Przekłada się to z jednej strony na wzrost złożoności grafu CAG, a z drugiej na wyraźną polaryzację wiedzy zawartej w grafie na opis oświetlenia oraz zależności logicznych między sensorami. Skoro w grafie występuje taki dualizm, to postawiłem tezę, że istotna jest reprezentacja wspomnianej wiedzy w formie dwóch grafów, z pewnymi dobrze zdefiniowanymi częściami wspólnymi, tak aby można było zrealizować semantykę sprzężenia wiedzy, w tym przypadku informacji o oświetleniu – graf CAG_{Ψ} (Control Availability Graph) i sensorach – graf DSG_{Θ} (Detector Structure Graph). Oba grafy opisywane są przez odrębne gramatyki, odpowiednio Ψ i Θ , ze zdefiniowanymi warunkami synchronizacji. Są to dwie perspektywy, specjalizowane podgrafy, które mogą być postrzegane jako częściowo niezależne. Zaproponowany przeze mnie mechanizm nosi nazwę *dualna gramatyka grafowa* (ang. *Dual Graph Grammar*) $[\Psi, \Theta]$ i został opublikowany w [H2]. Rezultatem jej zastosowania jest:

1. uporządkowanie i uproszczenie opisu w porównaniu do pojedynczej gramatyki,
2. formalne zdefiniowanie warunków walidacji dla obu gramatyk, które przy ich spełnieniu gwarantują synchronizację wiedzy zawartej w obu grafach,
3. możliwość niezależnego przetwarzania grafów opartych o odrębne gramatyki Ψ i Θ .

Możliwość niezależnego przetwarzania grafów zbudowanych w oparciu o *gramatykę dualną* zwiększa efektywność obliczeniową oprogramowania wykorzystującego to podejście. Jest to związane zarówno z możliwością zaimplementowania różnych mechanizmów reprezentacji i przetwarzania danych dla obu grafów, jak również przetwarzania współbieżnego.

Zaproponowana *gramatyka dualna* jest zdefiniowana jako para gramatyk grafowych $[\Psi, \Theta]$ taka, że:

$$\Psi = (\Sigma_{\Psi}, \Gamma_{\Psi}, \Delta_{\Psi}, \Phi_{\Psi}, S_{\Psi}, \Pi_{\Psi}) \quad (1)$$

$$\Theta = (\Sigma_{\Theta}, \Gamma_{\Theta}, \Delta_{\Theta}, \Phi_{\Theta}, S_{\Theta}, \Pi_{\Theta}) \quad (2)$$

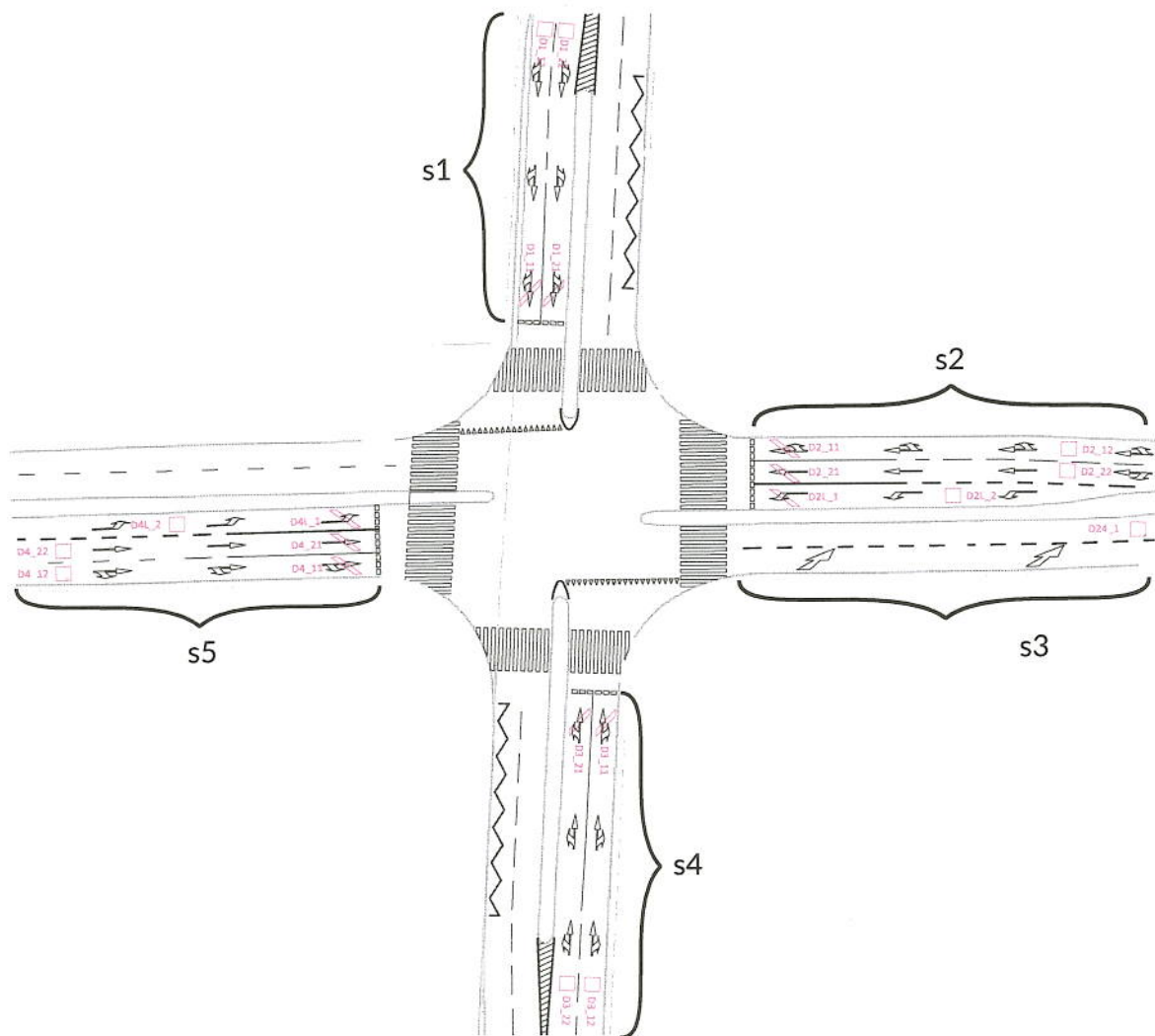
gdzie:

- Σ_{Ψ} i Σ_{Θ} są zbiorami etykiet węzłów,
- $\Delta_{\Psi} \subset \Sigma_{\Psi}$, $\Delta_{\Theta} \subset \Sigma_{\Theta}$ są etykietami węzłów terminalnych,
- Γ_{Ψ} i Γ_{Θ} są zbiorami etykiet krawędzi,
- Φ_{Ψ} i Φ_{Θ} są zbiorami reguł transformacji,
- S_{Ψ} i S_{Θ} są grafami początkowymi,
- Π_{Ψ} i Π_{Θ} są warunkami walidacji,

i spełnione jest: $\Sigma_{\Psi} \cap \Sigma_{\Theta} \neq \emptyset$.

Gramatyka dualna $[\Psi, \Theta]$ jest zsynchronizowana jeżeli oba warunki walidacji tj. Π_{Ψ} i Π_{Θ} są spełnione.

W [H2] przedstawiłem zarówno podstawy teoretyczne, jak i praktyczny przykład zastosowania prowadzący do zmniejszenia zapotrzebowania na moc obliczeniową przy przetwarzaniu grafów. Jest to moje główne osiągnięcie badawcze. Zastosowanie *dualnej gramatyki grafowej*, na przykładzie sterowania częścią systemu oświetleniowego Krakowa, która obejmuje 3768 punktów świetlnych, skutkuje zmniejszeniem wymagań na moc obliczeniową 2.8 raza. Na rys. 5 znajduje się schemat jednego ze skrzyżowań w Krakowie, z zaznaczonymi sensorami natężenia ruchu (D)



Rysunek 5: Przykładowe skrzyżowanie w Krakowie, pętle indukcyjne (detektory natężenia ruchu): D2_11, D2_12, D2_21, D2_22, D4L_2, D4L, D4_22, D4_21, D4_12, D4_11, D3_11, D3_12, D3_21, D3_22, D1_12, D1_11, D1_22, D1_21, D24_1, segmenty: s1, s2, s3, s4, s5; zaczerpnięte z [H2].

oraz segmentami oświetleniowymi (S). Odpowiedni graf CAG_Ψ pokazany jest na rys. 6, DSG_Θ natomiast na rys. 7. Oba grafy opisane są przez *gramatykę dualną* $[\Psi, \Theta]$. Częścią wspólną są węzły etykietowane dvt , tzw. wirtualne sensory, węzły w grafie, na których realizowana jest synchronizacja.

Grafy są zdefiniowane jak poniżej. CAG_Ψ jest generowany przez gramatykę Ψ .

$$CAG_\Psi = (V_\Psi, E_\Psi, lab_\Psi^V, lab_\Psi^E, \Sigma_\Psi, \Gamma_\Psi, att_\Psi^V, att_\Psi^E, A_\Psi^V, A_\Psi^E) \quad (3)$$

gdzie:

- V_Ψ jest skończonym, niepustym zbiorem węzłów, jednoznacznie identyfikowanych przez funkcję indeksującą $Index : V_\Psi \rightarrow IS$, gdzie IS jest zbiorem symboli indeksujących,
- $E_\Psi \subseteq V_\Psi \times V_\Psi$ jest zbiorem krawędzi,
- $\Psi_lab_\Psi^V : V_\Psi \rightarrow \Sigma_\Psi$ jest funkcją etykietującą węzły,
- $\Psi_lab_\Psi^E : E_\Psi \rightarrow \Gamma_\Psi$ jest funkcją etykietującą krawędzie,
- $\Sigma_\Psi = \{s, l, dvt, dva, c\}$ jest zbiorem etykiet węzłów, gdzie:
 - s reprezentuje segmenty,
 - l reprezentuje punkty świetlne,
 - dvt reprezentuje wirtualne detektory natężenia ruchu,
 - c reprezentuje konfiguracje,
- $\Gamma_\Psi = \{me3c, me4b, me5\}$ jest zbiorem etykiet krawędzi, gdzie: $me2, me3, me4, me5$ są klasami oświetleniowymi,
- $att_\Psi^V : V_\Psi \times \Sigma_\Psi \rightarrow 2^{A_\Psi^V}$ jest funkcją atrybutującą węzły, taką że, dla $x \in V_\Psi, l \in \Sigma_\Psi, a \in A_\Psi^V$ $att_\Psi^V(x, l)(a)$ jest wartością atrybutu a ,
- $att_\Psi^E : E_\Psi \times \Gamma_\Psi \rightarrow 2^{A_\Psi^E}$ jest funkcją atrybutującą krawędzie, taką że, dla $x \in E_\Psi, l \in \Gamma_\Psi, a \in A_\Psi^E$ $att_\Psi^E(x, l)(a)$ jest wartością atrybutu a ,

DSG_Θ jest grafem atrybutowanym, etykietowanym i skierowanym, generowanym przez gramatykę Θ :

$$DSG_\Theta = (V_\Theta, E_\Theta, lab_\Theta^V, \Sigma_\Theta, att_\Theta^V, A_\Theta^V) \quad (4)$$

gdzie:

- $V_\Theta, E_\Theta, lab_\Theta^V, att_\Theta^V, A_\Theta^V$ są zdefiniowane podobnie do CAG_Ψ ,
- Σ_Θ jest zbiorem etykiet węzłów, składającym się między innymi z:
 - dvt reprezentuje wirtualne sensory natężenia ruchu,
 - dt reprezentuje właściwe sensory natężenia ruchu,
 - $+, -, *, /, min, max$ reprezentuje operacje arytmetyczne,
 - val reprezentuje wartości stałe.

Warunki walidacji są zdefiniowana jako Π_Ψ :

$$\forall v \in V_\Psi : lab_V^V(v) \in \Delta_\Psi \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \forall v_1, v_2 \in L_V : lab_V(v_1) = l, lab_V(v_2) = dt \\ \exists v_4 \in L_V : lab_V(v_4) = s, \\ \exists v_5 \in L_V : lab_V(v_5) = c, \\ \{(v_2, v_4), (v_4, v_5), (v_5, v_1)\} \subset E \end{aligned} \quad (6)$$

oraz Π_Θ :

$$\forall v \in V_\Theta : lab_V^V(v) \in \Delta_\Theta \quad (7)$$

Zatem CAG_Ψ oraz DSG_Θ są zsynchronizowane jeżeli oba przedstawione wcześniej warunki walidacji, tj. Π_Ψ i Π_Θ , są spełnione.

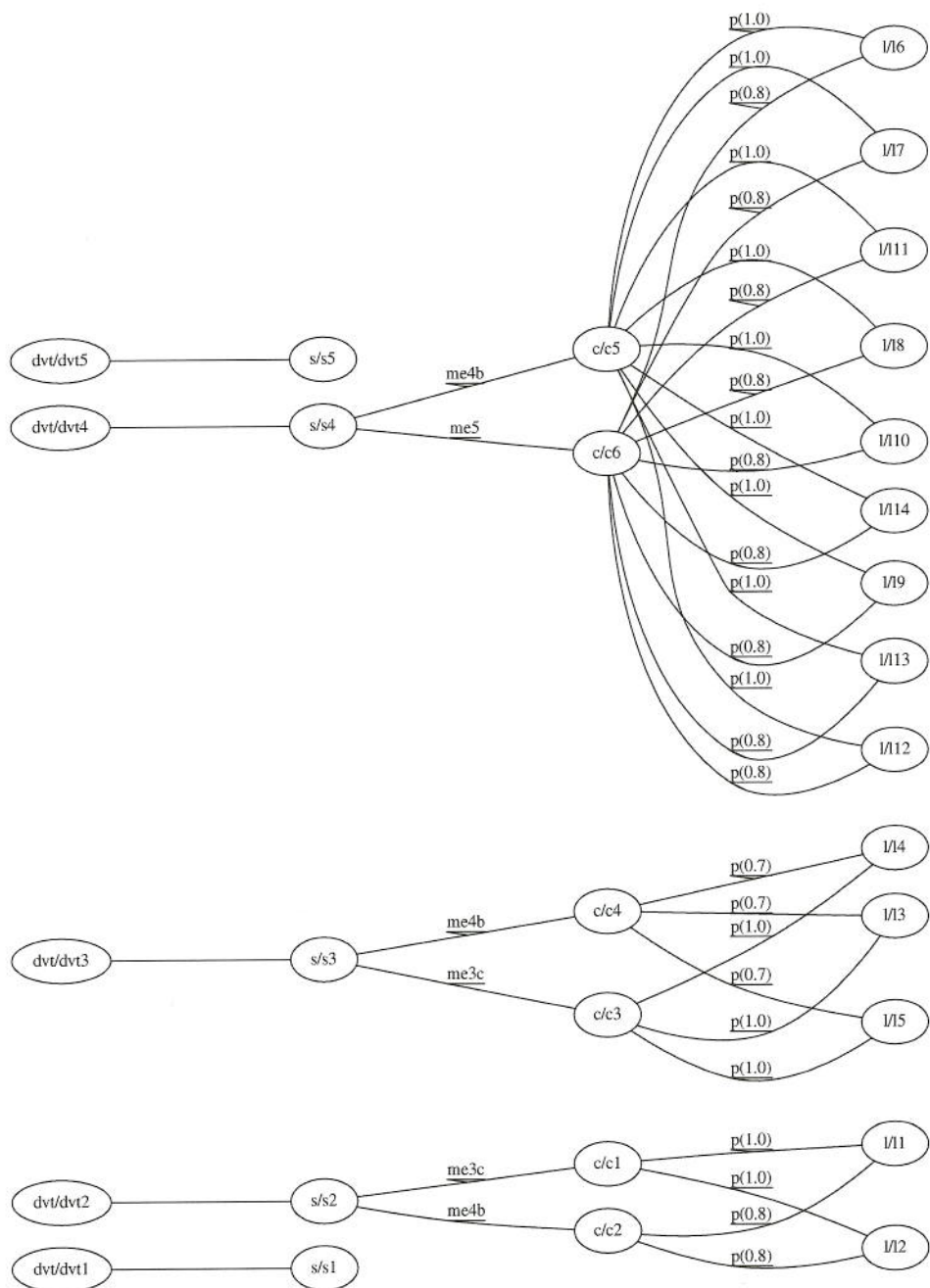
W procesie sterowania graf CAG_Ψ przetwarzany jest za pomocą transformacji grafowych, natomiast DSG_Θ jest konwertowany do ekwiwalentnego wyrażenia arytmetycznego.

W ogólnym przypadku *gramatyka dualna* może być zastosowana do zbioru gramatyk grafowych, dla których synchronizacja będzie zdefiniowana dla każdej z par gramatyk.

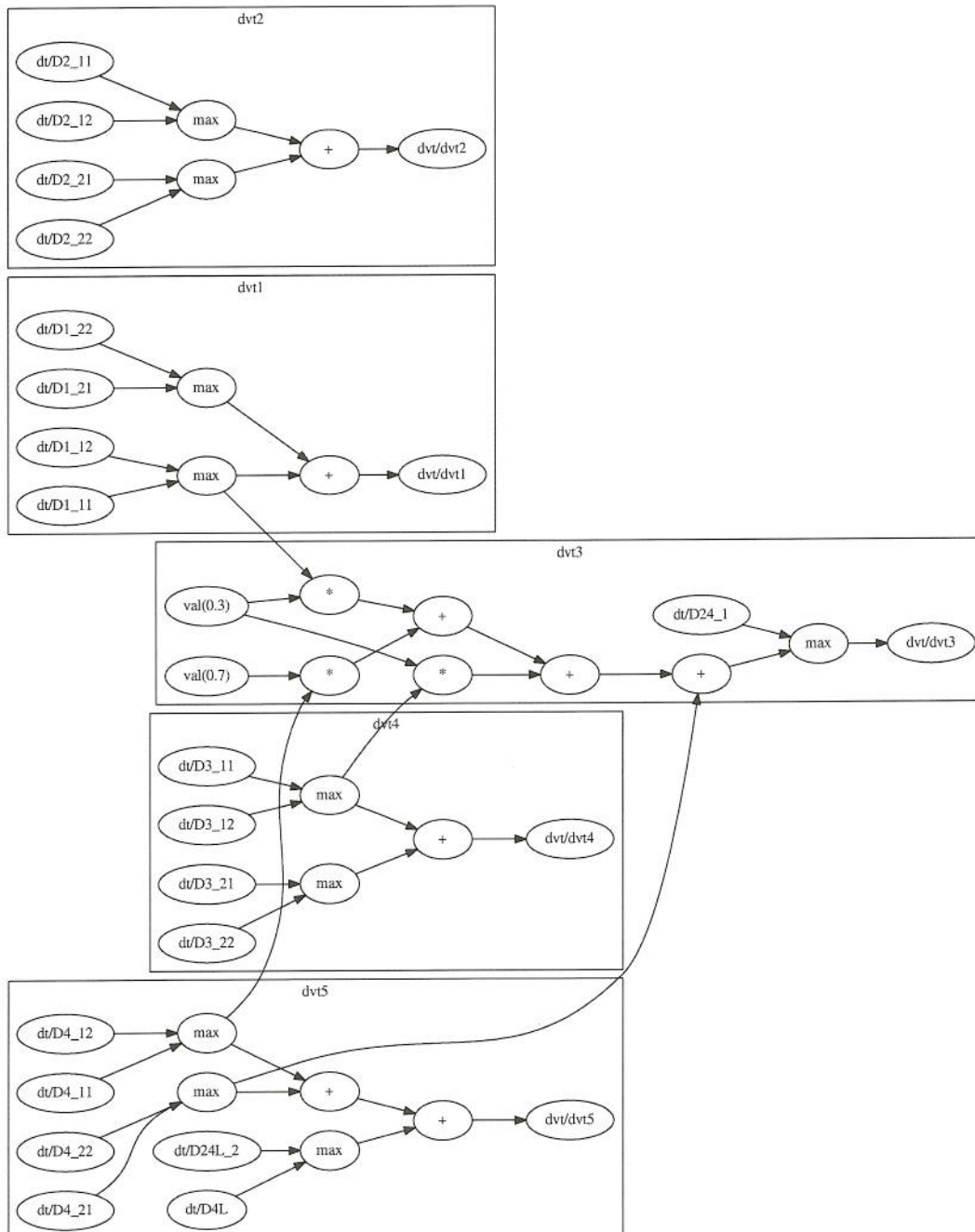
Istotnym aspektem praktycznym, przy wdrażaniu systemów sterowania oświetleniem dróg i ulic, jest dobór parametrów źródeł danych sensorycznych, takich jak np. częstość pomiarów natężenia ruchu. Mają one wpływ zarówno na koszty funkcjonowania takiego systemu, jak i na redukcję zużycia energii. Rezultaty badań nad ich wpływem na zużycie energii elektrycznej przedstawiłem w [H1]. Badania wykazały, że zastosowanie dynamicznego sterowania, na zróżnicowanym obszarze miejskim, przy pomiarze natężenia ruchu co 15 minut prowadzi do oszczędności energii na poziomie 26.75%, dla normy PN-EN 13201 2004. Zwiększenie częstości do 6 minut skutkuje zwiększeniem oszczędności do 27%. Rezultaty zostały również zbadane dla nowelizacji normy z 2014 roku. Osiągnięte wyniki to odpowiednio 47.43% i 47.69%. Zaprezentowane wyniki nie byłyby osiągalne bez modelu grafowego, a w szczególności CAG , opisującego system oświetleniowy i sterowanie w oparciu o transformacje grafowe. Wartością dodaną jest również obserwacja, że aktualizacja normy oświetleniowej z 2014 roku przynosi istotne korzyści ekonomiczne związane z zastosowaniem dynamicznego sterowania w porównaniu z wersją z roku 2004. Badania te dodatkowo pokazują, jak model i transformacje grafowe, technologia oraz regulacje branżowe przekładają się na konkretne zyski ekonomiczne.

Szczegóły rozwiązania informatycznego implementującego system sterowania zrealizowany pilotażowo w Krakowie pokazałem w [H7]. Dalsze badania i ich praktyczne zastosowania m.in. do dynamicznego sterowania systemami oświetlenia zewnętrznego zgodnego z normą PN-EN 13201, prowadzone są aktualnie w ramach grantu NCBiR (Opracowanie innowacyjnego w skali świata systemu PhoCa Custom do projektowania, sterowania i zarządzania infrastrukturą oświetleniową miast) przez spółkę GRADIS, spin-off powołany przez Akademię Górniczo-Hutniczą.

Podsumowując, moim głównym osiągnięciem naukowym udokumentowanym przez powiązany tematycznie cykl publikacji jest koncepcja *dualnej gramatyki grafowej* i jej zastosowanie w rozwiązywaniu problemów ekspresji semantycznej w procesie projektowania i zarządzania systemami sterowania. Jej użycie powoduje separację semantycznie odrębnych aspektów modelowanej rzeczywistości na dwa odrębne grafy zdefiniowane przez osobne gramatyki. Powoduje to uporządkowanie i uproszczenie opisu modelowanego problemu. Ponadto, wprowadziłem warunki walidacji, których spełnienie umożliwia synchronizację wiedzy zawartej w obu grafach. Sprzyja to niezależnemu przetwarzaniu takich grafów. Przekłada się to bezpośrednio na zwiększenie wydajności przetwarzania przez zastosowanie współbieżności oraz przez odpowiednie dopasowanie algorytmu przetwarzania do konkretnego grafu, co potwierdzają eksperymenty oraz praktyczne zastosowanie. Możliwe jest również dalsze uogólnienie koncepcji *dualnej gramatyki grafowej* na zbiór gramatyk dualnych parami.



Rysunek 6: Przykładowe skrzyżowanie w Krakowie; CAG_{Ψ} zbudowany na podstawie gramatyki Ψ opisującej strukturę; zaczerpnięte z [H2].



Rysunek 7: Przykładowe skrzyżowanie w Krakowie; DSG_{Θ} zbudowany na podstawie gramatyki Θ opisującej ewaluację wartości sensorycznych; zaczerpnięte z [H2].

Główną aplikacją prezentowanej koncepcji jest modelowanie systemów sterowania przestrzeniami inteligentnymi na przykładzie oświetlenia dróg i ulic.

4 Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

W poniższych projektach pełniłem lub pełnię funkcje **kierownika**.

1. Opracowanie innowacyjnego w skali świata systemu PhoCa Custom do projektowania, sterowania i zarządzania infrastrukturą oświetleniową miast, rozpoczęty w 2017, grant NCBiR, **kierownik zadania** dot. inteligentnego sterowania oświetleniem.
2. PreFlexMS – Predictable Flexible Molten Salts Solar Power Plant – Demonstration of renewable electricity and heating/cooling technologies LCE-03-2014 (Demonstracja technologii odnawialnej energii elektrycznej oraz ogrzewania/chłodzenia LCE-03-2014), rozpoczęty w 2015, w ramach Horyzont 2020, **kierownik** zadań Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.
3. XTRF Collab, 2012–2013, zlecenie z przemysłu XTRF Management Systems sp. z o. o., **kierownik**.
4. Projekt strategiczny Zintegrowane Laboratorium Projektowo-Operacyjne Inteligentnych Infrastruktur Energetycznych – Green AGH Campus, 2013, Akademia Górniczo-Hutnicza oraz General Electric, **kierownik** podzadania dot. rozwiązań informatycznych.

W poniższych projektach pełniłem lub pełnię funkcje **nadzoru merytoryczno-formalnego**.

1. Audyty Technologiczne wykonane przez Centrum ISI, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, 2016–2018, organ przyznający fundusze: Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego, **nadzór merytoryczno-formalny** 62 projektów.
2. Portfolio projektów Centrum ISI, 2013–2015, organ przyznający fundusze: Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego, **nadzór merytoryczno-formalny** 42 mini-grantów badawczych.

W poniższych projektach pełniłem lub pełnię funkcje **wykonawcy**.

1. Long life interconnected smart battery system for off-grid applications (FOGA), 2015–2016, grant KIC InnoEnergy, **wykonawca**.
2. ISE: Pilotażowa modernizacja oświetlenia ulicznego Miasta Krakowa wraz z rozbudową warstwy telemetrycznej, stworzeniem systemu sterowania oraz budową instalacji PV, grant NFOŚiGW, 2015–2016, **wykonawca**.
3. Products and Services of a Living Smart Energy City Lab – Alive & KIC-ing, 2012–2013, grant KIC InnoEnergy, **wykonawca**.
4. Inteligentny System Informacyjny dla Globalnego Monitoringu, Detekcji i Identyfikacji Zagrożeń (INSIGMA), 2011–2015, grant NCBiR, **wykonawca**.
5. Hybrydowa Inżynieria Wiedzy: Zintegrowane narzędzia komputerowe do efektywnego wytwarzania niezawodnego oprogramowania w oparciu o deklaracyjny model logiczny (HE-KATE), 2007–2009, grant Ministerstwa Nauki i Informatyzacji, **wykonawca**.

Brałem udział w **komitetach organizacyjnych** wymienionych poniżej międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych.

1. Systemy Czasu Rzeczywistego, 2012, Kraków, **członek komitetu organizacyjnego**.
2. Zapewnienie jakości systemów oświetleniowych, Kraków, 2014, **organizator**.

Otrzymałem następujące **nagrody i wyróżnienia**.

1. Nowe Impulsy 2017, XIV Kongres Nowego Przemysłu, wyróżnienie za stworzenie ciekawej oferty realizującej w praktyce ideę efektywności energetycznej.
2. Zespołowa nagroda organizacyjna 3-go stopnia, 2015, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.
3. Drugie miejsce w międzynarodowym konkursie The Business Booster w Berlinie, 2015, KIC InnoEnergy, rozwiązania firmy GRADIS (spin-off Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie) wykorzystujące sztuczną inteligencję.
4. Platinum Award Security/Safety, 2015, International Exhibition of Economics and Scientific innovations, System wspomaganie zarządzaniem ruchem drogowym oparty o analizę obrazu z kamer, rezultaty projektu INSIGMA.

Brałem udział w następujących **sieciach i konsorcjach badawczych**.

1. Konsorcjum do wniosku o grant europejski: Foresight, the future of big data lies with prescriptive analytics ICT-16-2015, **8 partnerów międzynarodowych**, Horizon 2020, 2015, charakter uczestnictwa: **budowa konsorcjum, kierowanie** opracowaniem merytorycznym zakresu badań dot. analityki danych i uczenia maszynowego oraz zdefiniowanie zadań Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.
2. Konsorcjum do wniosku o grant europejski: PreFlexMS – Predictable Flexible Molten Salts Solar Power Plant – Demonstration of renewable electricity and heating/cooling technologies LCE-03-2014, **14 partnerów międzynarodowych**, Horizon 2020, 2014, charakter uczestnictwa: **budowa konsorcjum, kierowanie** wykonaniem wkładu merytorycznego dot. uczenia maszynowego i zdefiniowanie zadań Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.
3. CHIST-ERA-NET, 2014, charakter uczestnictwa: **definiowanie obszarów badawczych** do późniejszego finansowania.
4. Konsorcjum do wniosku o grant europejski: "Universal Data Structure", **8 partnerów międzynarodowych**, FP7, 2012, charakter uczestnictwa: **opracowanie wkładu merytorycznego** dot. metod reprezentacji wiedzy dla uczenia maszynowego i systemów inteligentnych.

Organizowałem i kierowałem jednostką transferu wiedzy, innowacji i technologii informatycznych we współpracy z naukowcami z ośrodków polskich oraz z przedsiębiorcami.

1. SPIN – Model Transferu Innowacji w Małopolsce, 2013–2015, organ przyznający fundusze: Małopolski Regionalny Program Operacyjny, partnerzy: Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego, Politechnika Krakowska, Uniwersytet Jagielloński, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum.
2. Małopolskie Centra Transferu Wiedzy, 2016-2018, organ przyznający fundusze: Małopolski Regionalny Program Operacyjny, partnerzy: Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego, Politechnika Krakowska, Uniwersytet Jagielloński.



Organizowałem współpracę międzynarodową z naukowcami i przedsiębiorcami z ośrodków zagranicznych.

- Nowe metody zarządzania energią elektryczną, 2013, organ przyznający fundusze: Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego, współpraca z następującymi partnerami:
 1. General Electric Digital Energy, Bracknell, Anglia,
 2. General Electric Digital Energy, Livingstone, Szkocja,
 3. General Electric Digital Energy, Atlanta, Georgia, USA,
 4. General Electric Global Research Center, Albany, New York, USA,
 5. Southern California Edison, Westminster, California, USA.

Byłem **członkiem** następujących **organizacji**.

1. Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 2007–2014, członek zwyczajny.
2. KES Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems Society, 2013–2014, członek zwyczajny.

Wykonałem następujące **ekspertyzy i opracowania na zamówienie**.

1. Igor Wojnicki, 2017–2018, zakres: zaprojektowanie i wycena procesu badawczego dot. optymalizacji zarządzania zespołami w oparciu o modele formalne, zamawiający: Leanpassion Sp. z o.o.
2. Igor Wojnicki, 2015, zakres: zastosowanie inżynierii systemów do utworzenia modelu kosztów wdrażania polityki bezpieczeństwa dla elektroenergetyki, zamawiający: KIC Inno-Energy.
3. Antoni Ligęza, Grzegorz J. Nalepa, Igor Wojnicki, 2006, tytuł: Opinia w sprawie proponowanej zmiany architektury systemu ESOD, zamawiający: Naczelna Izba Kontroli.

Brałem udział w następujących **zespołach eksperckich i konkursowych**.

1. Konkurs inżynierski EBEC Challenge Poland, 2018, charakter udziału: **członek jury**.
2. SPIN – model transferu innowacji w Małopolsce, 2012–2015, cel: zbudowanie modelu transferu innowacji i współpracy pomiędzy uczelniami wyższymi, a przedsiębiorstwami, charakter udziału: **członek rady programowej**.

Recenzowałem również jeden **projekt badawczy** dla Narodowego Centrum Nauki w 2012. Ponadto recenzowałem **publikacje** dla następujących **czasopism**.

1. Energies Journal, MDPI, 2018, 1 manuskrypt.
2. Sustainability Journal, MDPI, 2015–2018, 3 manuskrypty.
3. Expert Systems with Applications, Elsevier, 2013, 1 manuskrypt.
4. Neurocomputing Journal, Elsevier, 2012, 1 manuskrypt.

Jestem lub byłem **członkiem komitetu programowego** i **recenzentem** następujących konferencji.

1. Międzynarodowa konferencja Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE), 2012–2018, członek komitetu programowego i recenzent.
2. Międzynarodowa konferencja Smartgreens: International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems, 2013–2018, członek komitetu programowego i recenzent.
3. Międzynarodowa konferencja International Conference on Event-Based Control, Communication and Signal Processing EBCCSP, 2016, członek komitetu programowego i recenzent.
4. Międzynarodowa konferencja International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development (SEED), 2016, członek komitetu programowego i recenzent.
5. Międzynarodowa konferencja IEEE International Conference on Sustainable Computing and Communications (SustainCom), 2016, członek komitetu programowego i recenzent.
6. Międzynarodowa konferencja IEEE International Conference on Green Computing and Communications, 2015, członek komitetu programowego i recenzent.
7. Międzynarodowa konferencja KES International Conference on Sustainable Design and Manufacturing, 2013, członek komitetu programowego i recenzent.

Ponadto jestem współautorem poniższego **zgłoszenia patentowego**.

- Zgłoszenie patentowe, 2017, System i sposób zarządzania regułami sterowania sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniu – [System and the method to manage the rules of control of the traffic lights on the crossing] / Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie ; wynalazca: DZIECH Andrzej, CHMIEL Wojciech, ERNST Sebastian, KADŁUCZKA Piotr, MIKRUT Zbigniew, SZWED Piotr, WOJNICKI Igor. — Int.Cl.: G08G 1/08^(2006.01). — Polska. — Opis zgłoszeniowy wynalazku ; PL 414870 A1 ; Opubl. 2017-05-22. — Zgłosz. nr P.414870 z dn. 2015-11-20 // Biuletyn Urzędu Patentowego ; ISSN 0137-8015 ; 2017 nr 11, s. 42., współautor zgłoszenia patentowego.

Poniżej znajdują się moje pozostałe osiągnięcia.

1. XIV Kongres Nowego Przemysłu, 2017, udział w panelu: Energia Plus – nowe trendy na rynku energii.
2. Udział w w Wydziałowym Zespole ds. Promocji i Informacji na kadencję 2016-2020, przedstawiciel Katedry Informatyki Stosowanej, Wydział EAIiIE, AGH.
3. Prezentacja przed Komisją Europejską, 2015, prezentacja dot. wdrażania polityk bezpieczeństwa systemów informatycznych w energetyce, w ramach działań Insight_e.
4. Warsztaty dot. zastosowań fotowoltaiki, 2014, główny organizator.
5. Spotkania Energetyczna przy Kawie, 2013, współorganizacja wydarzenia oraz prelekcja dot. zastosowań systemów inteligentnych.

Bibliografia

- [1] Avelino J. Gonzalez, Brian S. Stensrud i Gilbert C. Barrett. “Formalizing context-based reasoning: A modeling paradigm for representing tactical human behavior”. W: *Int. J. Intell. Syst.* 23.7 (2008), s. 822–847.



- [2] Leszek Kotulski. "Distributed Graphs Transformed by Multiagent System". W: *Artificial Intelligence and Soft Computing – ICAISC 2008*. Red. Leszek Rutkowski i in. T. 5097. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2008, s. 1234–1242.
- [3] Antoni Ligeza. *Logical Foundations for Rule-Based Systems*. en. Springer Science & Business Media, sty. 2006.
- [4] Ardeshir Mahdavi. "Predictive simulation-based lighting and shading systems control in buildings". W: *Building Simulation 1.1* (mar. 2008), s. 25–35.
- [5] Adam Sędziwy. "Effective Graph Representation for Agent-Based Distributed Computing". W: *Agent and Multi-Agent Systems. Technologies and Applications*. Red. Gordan Jezic i in. T. 7327. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2012, s. 638–647.

