

Prof. dr hab. Adam Borkowski
Mgr Jacek Guzek
IPPT PAN

AGENTOWY MODEL UKŁADU WSPOMAGANIA DECYZJI KIEROWCY

W pracy przedstawiono wstępne założenia Asystenta Manewru Wyprzedzania. Jest to układ wspomagający kierowcę w ocenie sytuacji drogowej. Przy jego projektowaniu wykorzystano koncepcję systemu wieloagentowego i uwzględniono tendencje rozwoju telematyki we współczesnym przemyśle samochodowym.

ON AGENT-BASED DRIVER'S ASSISTANT

This paper presents preliminary results on developing the Takeover Assistant. Such a module will help the driver to assess current situation on the road by taking advantage of the multiagent paradigm and the rapid expansion of telematics in modern cars.

1. WPROWADZENIE

Mimo protestów ekologów liczba samochodów nieubłaganie rośnie. Wraz ze wzrostem intensywności ruchu na drogach rośnie również liczba wypadków drogowych. Specjaliści są zgodni co do tego, że najsłabszym ogniwem ruchu drogowego, traktowanego jako pewien system, jest człowiek. Logiczne jest zatem, że kraje przodujące technologicznie podejmują wysiłki zmierzające do budowy w pełni zautomatyzowanych pojazdów. W Europie przykładem jest projekt i-Car (*intelligent car*) prowadzony od roku 1985 przez Instytut Transportu i Ruchu Drogowego (ITACS) Uniwersytetu w Bremie [7]. W Stanach Zjednoczonych liderem badań jest Instytut Robotyki Uniwersytetu Carnegie Mellon. Według raportów tego instytutu ostatni z serii pojazdów automatycznych przejechał samodzielnie trasę z Pittsburga do San Diego, wynoszącą 4800 km.

Zanim przesiądziemy się do samochodów całkowicie automatycznych, czeka nas faza przejściowa, w której będzie następowało stopniowe przekazywanie coraz większej liczby funkcji sterowniczych układom automatyki. Istotną rolę w tej fazie będzie odgrywała elektronika wspomagająca kierowcę. Komputeryzację samochodu umożliwiłszy szybki postęp zarówno w sprzęcie, jak i oprogramowaniu. Nowinki sprzętowe omawiamy w następnym rozdziale pracy, teraz chcielibyśmy zwrócić uwagę czytelnika na nową koncepcję budowy oprogramowania, która będzie miała duży wpływ na omawianą dziedzinę techniki. Chodzi o tzw. podejście wieloagentowe (*multiagent approach*) [8], [10]. Polega ono na tym, że oprogramowanie zapewnia współpracę agentów posiadających pewien zakres autonomii i wymieniających między sobą informacje. W zależności od złożoności pojedynczego agenta i od zakresu wymiany informacji powstaje szerokie spektrum układów wieloagentowych. Na jednym jego skrajach plasują się proste systemy owadopodobne [4], na drugim zaś – systemy modelującego zachowania ludzkich zespołów, np. drużyn sportowych [5].

Celem niniejszej pracy jest pokazanie, że podejście wieloagentowe doskonale nadaje się do modelowania ruchu drogowego i budowy systemów wspomagających kierowcę. Wskazują na to wstępne wyniki badań podjętych w Pracowni Systemów Adaptacyjnych IPPT PAN [1], [2], [3].

2. ELEKTRONIKA WE WSPÓŁCZESNYM SAMOCHODZIE

Od szeregu lat nowe modele samochodów wyposażane są w coraz bardziej złożone układy elektroniczne. Rewolucja elektroniczna w przemyśle samochodowym stała się możliwa dzięki postępowi i miniaturyzacji, jakie dokonały się w ostatnich latach w tej dziedzinie. Układy scalone i mikroprocesory stają się coraz mniejsze i szybsze. Dzięki temu coraz więcej zadań powierza się komputerom pokładowym montowanym w samochodach. Pierwszym poważnym zastosowaniem mikroprocesora w samochodzie było urządzenie o nazwie Motronic firmy Bosch. Zamontowano je w 1979 roku w niektórych modelach BMW. Zadaniem układu było sterowanie wtryskiem paliwa i zapłonem.

Od tamtego czasu zakres funkcji pełnionych przez tego typu układy znacznie się zwiększył. Dziś komputery pokładowe sterują pracą silnika, kontrolują skład spalin i odpowiednio dobierają mieszankę paliwową. Układy takie jak ABS czy ARS dbają o bezpieczeństwo pasażerów podczas jazdy lub gwałtownego hamowania. Aby systemy, w jakie wyposażono samochód, mogły spełniać swoje funkcje muszą otrzymywać dane z czujników rozmieszczonych w wielu miejscach samochodu, a także komunikować się ze sobą. Dlatego wszystkie urządzenia połączono w sieć CAN (Controller Area Network). Dzięki sieci komputer pokładowy może dodatkowo sterować pracą klimatyzacji, radia, telefonu itp.

Ostatnie modele Mercedesa klasy S wyposażono w układ radarowy Distronic kontrolujący odległość od samochodu jadącego z przodu. Jeśli za bardzo zbliżymy się do samochodu poprzedzającego rozlega się sygnał ostrzegawczy. Układ ten pozwala również jechać ze stałym odstępem w kolumnie.

Rozwój telefonii komórkowej sprawił, że systemy zapewniania bezpieczeństwa poszły o krok dalej. Za pośrednictwem telefonów komórkowych kierowcy mogą uzyskać informacje o ruchu drogowym dotyczące tylko obszaru, na którym się właśnie znajdują. Dzięki tym informacjom kierowcy mogą ominąć korki lub odcinki trasy, na których są utrudnienia w ruchu. System GPS oraz cyfrowe mapy terenu pozwalają budować układy, które ułatwiają nawigację w nieznanym mieście, pozwalają na ustalenie optymalnej trasy przejazdu oraz ominięcie korków dzięki informacjom uzyskanym przez telefon komórkowy. Choć ceny takich rozwiązań na razie odstrasza, to jednak wiemy, że dziś dostępne są już technologie, o których jeszcze niedawno można było tylko marzyć.

Jak widać z tego krótkiego przeglądu, systemy mikroprocesorowe w samochodach działają niejako na dwóch poziomach. Na poziomie „niskim” zajmują się sterowaniem pracą silnika, hamulców, skrzyni biegów i innych urządzeń w pojeździe oraz dbaniem o bezpieczeństwo jazdy. Na poziomie „wysokim” systemy te wspomagają kierowcę w nawigacji, pomagają odnaleźć drogę, wskazują optymalną trasę oraz podpowiadają, jak ominąć utrudnienia w ruchu.

W wielu ośrodkach na świecie prowadzone są badania nad takim połączeniem dostępnych dziś technologii, aby stworzyć pojazd całkowicie automatyczny, który podczas jazdy nie wymaga kontroli człowieka. Gdyby udało się stworzyć taki pojazd, prawdopodobnie zmalałoby

liczba wypadków. Statystyki pokazują, że w większości przypadków wypadki spowodowane są błędem kierowcy.

3. ZAŁOŻENIA OGÓLNE

Ruch w mieście charakteryzuje się szybką dynamiką i dużą liczbą trudnych do przewidzenia sytuacji. Z tego względu nie wydaje się, aby w przewidywalnej przyszłości pojawiły się w nim elementy automatycznego sterowania. Upowszechnią się natomiast niewątpliwie systemy nawigacyjne, które prowadzą kierowcę po cyfrowym planie miasta informując go przed każdym skrzyżowaniem, jak ma dalej jechać. Obecnie barierą przed ich upowszechnianiem w Polsce jest brak takowych planów oraz wysoka cena (np. najtańszy system firmy Philips kosztuje ponad 7.5 tys. zł).

Obiektem naszego zainteresowania jest ruch poza miastem, przy czym będziemy rozróżniali:

- 1) drogę dwupasmową, na której każdy pas jest przeznaczony dla jednego kierunku ruchu;
- 2) drogę ekspresową lub autostradę, na której kierunki ruchu są rozdzielone pasem bezpieczeństwa.

Jak wiadomo ze statystyki wypadków, najbardziej niebezpiecznym manewrem w ruchu poza miastem jest wyprzedzanie. Na drodze dwupasmowej wiąże się ono zawsze z dwukrotną zmianą pasa ruchu. W przypadku drogi o rozdzielonych kierunkach ruchu wyprzedzanie może odbywać się bez zmiany pasa, przy czym kodeks drogowy wymaga, aby pojazdy szybsze poruszały się lewym pasem.

Wypadki związane z manewrem wyprzedzania na drodze dwupasmowej sprowadzają się najczęściej do:

- 1) zderzenia z pojazdem nadjeżdżającym z przeciwka wskutek błędnej oceny sytuacji drogowej przez kierowcę wyprzedzającego;
- 2) zderzenia z pojazdem wyprzedzanym lub wymuszonego zjechania z drogi wskutek błędu kierowcy wyprzedzanego pojazdu (podwójne wyprzedzanie).

Proponowany przez nas układ, nazwany umownie Asystentem Manewru Wyprzedzania (AMW) ma zmniejszać prawdopodobieństwo każdego z powyższych zdarzeń. Przy jego projektowaniu braliśmy pod uwagę następujące wymagania:

- 1) układ powinien działać samoczynnie, nie rozpraszać uwagi kierowcy i nie absorbując go dodatkowymi czynnościami obsługi;
- 2) zalecenia układu powinny być jednoznaczne i łatwo czytelne;
- 3) układ nie powinien w żadnym stopniu ograniczać kierowcy w podejmowaniu decyzji, lecz na decyzje potencjalnie niebezpieczne układ powinien reagować dźwiękowym sygnałem ostrzegawczym.

Zakładamy, że układ AMW będzie montowany w samochodach wyposażonych w systemy nawigacyjne o obecnie dostępnych parametrach technicznych oraz w radary analogiczne do montowanych w systemie Distronic. W związku z tym, dostępne będą w postaci cyfrowej następujące wielkości (w nawiasach podajemy źródło informacji):

- 1) pozycja samochodu (GPS + mapa cyfrowa);
- 2) prędkość (prędkościomierz);
- 3) odległość do poprzedzającego pojazdu (radar).

Oprócz tego, samochody będą wyposażone w urządzenia dwustronnej łączności radiowej, pozwalające na wymianę komunikatów. Ze względu na różnice wymagań komunikacyjnych w różnych modelach współdziałania, będziemy omawiali te urządzenia w następnym rozdziale pracy.

Dane wpływające na wejście AMW będą przetwarzane w module wnioskującym, zrealizowanym w postaci systemu regułowego lub w postaci sieci neuronowej. Moduł ten musi korzystać również z bazy wiedzy, która powinna zawierać elementy kodeksu drogowego i model dynamiki samochodu. Wynikiem wnioskowania będzie trójstopniowa ocena bezpieczeństwa zamierzonego manewru wyprzedzania:

- 1) manewr bezpieczny;
- 2) manewr warunkowo bezpieczny;
- 3) manewr niebezpieczny;

Ocena ta może być przekazana kierowcy za pomocą kolorowo podświetlanych wskaźników na tablicy rozdzielczej (np. diody zielona, żółta i czerwona).

4. MODELE WSPÓLDZIAŁANIA

Zajmiemy się teraz analizą współdziałania układów AMW, traktowanych jako węzły systemu wieloagentowego, w ocenie stopnia bezpieczeństwa manewru wyprzedzania. Wypada przy tym oddzielnie potraktować drogi o ruchu jedno i dwustronnym.

4.1. Droga dwupasmowa

Rozważmy najpierw model uproszczony, w którym zaniedbujemy pojazdy nadjeżdżające z przeciwnika. Wbrew pozorom, taki model może okazać się całkiem przydatny w praktyce. Wymaga on bowiem minimalnego wkładu sprzętowego: wystarczy upowszechnić układ radarowy typu Distronic i wyposażać samochody w dwustronne bezprzewodowe łącza transmisyjne krótkiego zasięgu.

Schemat współdziałania agentów w modelu uproszczonym pokazuje Rys. 1. Wymianę komunikatów inicjuje kierowca samochodu A zgłaszając zamiar wyprzedzania¹. Agent A sprawdza, czy spełnione są warunki wstępne

$$d_A \leq D_A, v_B \leq V_B \quad (1)$$

Stałe D_A i V_B zależą od parametrów dynamicznych pojazdu A i określają, odpowiednio, maksymalną odległość i maksymalną prędkość, przy których można rozpoczynać wyprzedzanie.

Jeżeli warunki (1) są spełnione, to agent A zgłasza agentowi B chęć wyprzedzania. Agent B sygnalizuje swemu kierowcy otrzymanie tego zgłoszenia i sprawdza warunki bezpieczeństwa manewru:

$$d_B \geq D_B, t = false \quad (2)$$

¹ Jest to zgłoszenie wstępne, realizowane np. poprzez krótkie wciśnięcie dźwigni przełącznika kierunkowskózów.

We wzorze tym stała D_B określa minimalną odległość między pojazdami B i C, a zmienna logiczna t ma wartość true, gdy kierowca pojazdu B zgłosił zamiar wyprzedzania.

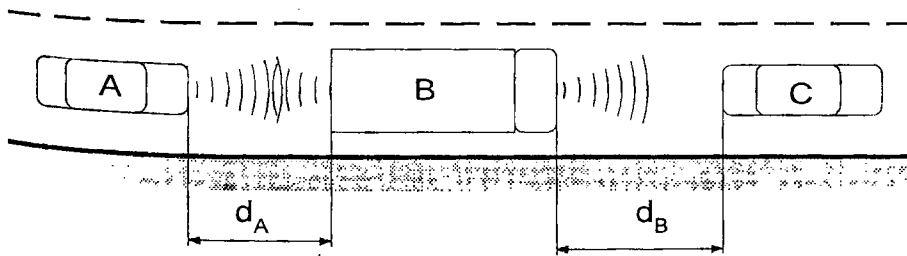
Jeżeli warunki (2) są spełnione, to agent B przesyła agentowi A zgodę na wykonanie manewru. W przeciwnym razie odpowiedź jest negatywna. Warunki (1) i (2) sprawdzane są cyklicznie tak długo, aż manewr zostanie zrealizowany lub odwołany.

Zauważmy, że uproszczony model w istotny sposób przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa i komfortu jazdy:

- 1) kierowca pojazdu A nie musi zbaczać w stronę osi drogi, by sprawdzić, czy przed pojazdem B jest miejsce na zakończenie manewru wyprzedzania;
- 2) kierowca pojazdu B jest dodatkowo uprzedzony o tym, że ktoś chce go wyprzedzić i może ułatwić ten manewr zwiększając odległość d_B .

Model pełny (Rys. 2) jest trudniejszy w realizacji. Aby ocenić bezpieczeństwo wyprzedzania z uwzględnieniem pojazdu C nadjeżdżającego z przeciwnka, agent A musi znać odległość d_C i prędkość v_C . Przy założeniu, że własna prędkość $v_A \approx v_B$ jest znana, pozwala to bowiem sprawdzić, czy pojazd A zdąży wrócić na własny pas zanim nadjedzie pojazd C.

Jak z tego wynika, model pełny wymaga wyposażenia wszystkich pojazdów w system nawigacyjny, określający dostatecznie dokładnie bieżącą pozycję. Dodatkowym problemem jest zapewnienie dostatecznego zasięgu łączności: promień tego zasięgu R powinien zależeć od prędkości v_A i v_B . Agent A musi też rozpoznać wśród wielu pojazdów znajdujących się w promieniu R pojazd C nadjeżdżający z przeciwnka. Wstępne propozycje rozwiązania tych problemów zostaną przedstawione na konferencji.

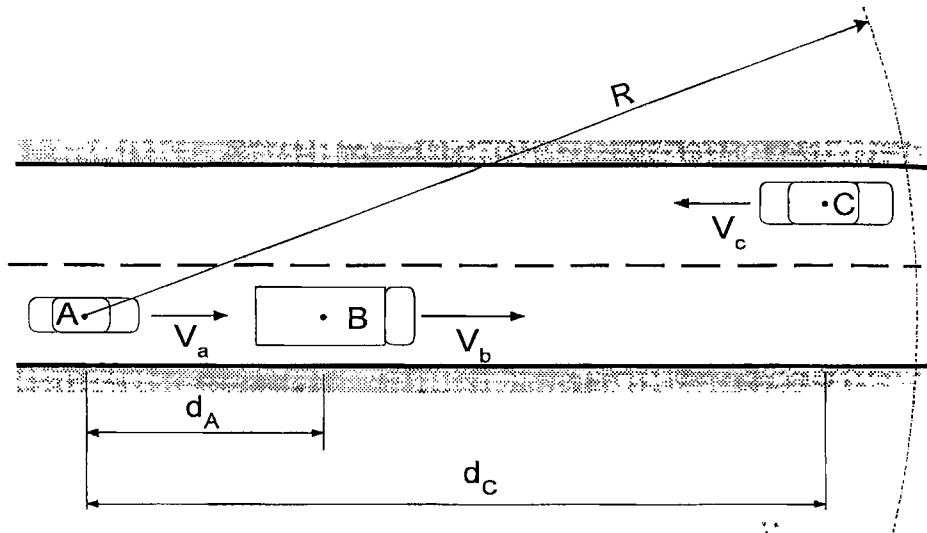


Rys. 1. Współdziałanie pojazdów na drodze dwupasmowej – model uproszczony.

4.2. Droga ekspresowa lub autostrada

Sytuacja na drodze o rozdzielonych kierunkach ruchu jest w pewnym sensie odwróceniem sytuacji omówionej poprzednio. Jak widać z Rys. 3, ocena stopnia bezpieczeństwa manewru wyprzedzania pojazdu B przez pojazd A zależy teraz od prędkości v_C i odległości d_C pojazdu nadjeżdżającego z tyłu. Rozwiązania znalezione dla pełnego modelu sytuacji na drodze dwu-

pasmowej będzie można zatem przystosować do oceny bezpieczeństwa manewru zmiany pasa ruchu na drodze ekspresowej lub autostradzie.



Rys. 2. Współdziałanie pojazdów na drodze dwupasmowej – model pełny.

Zauważmy, że układ AMW będzie pożyteczny również w przypadku wyprzedzania pojazdów wolniejszych bez zmiany pasa ruchu. Zbliżając się do agentów A i B, poruszających się prawym pasem, agent C będzie z nimi uzgadniał manewr wyprzedzania. Zapobiegnie to częstym przypadkom zajechania drogi przez kierowcę, który nie zauważył w lusterku wstecznym pojazdu wyprzedzającego.

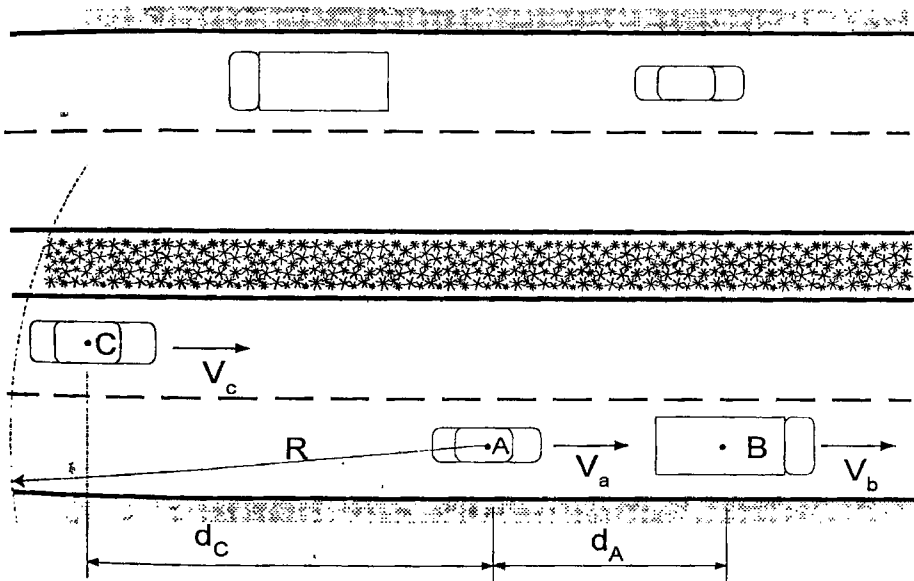
5. OPIS SYMULATORA RUCHU

Właściwości zaproponowanego systemu badane będą na drodze symulacji komputerowej z użyciem symulatora ruchu drogowego napisanego w języku Java. W programie można wyróżnić 3 moduły:

Moduł wnioskujący, w którym zawarte jest to wszystko, co stanowi o inteligencji i zachowaniu agenta systemu AMW. Moduł ten zawiera bazę wiedzy, reguły wnioskowania oraz akcje, jakie agent podejmuje w zależności od okoliczności (in. danych wejściowych). Innymi słowy jest to agent „we własnej osobie”.

Moduł symulacji, który odpowiada za symulację środowiska (otoczenia), w którym działa agent. Tu powstają dane, które agent otrzymuje na swoim wejściu (np. prędkość, położenie geograficzne) oraz wykonywane są działania zlecane przez agenta (np. wysłanie komunikatu radiowego, odczyt radaru itp.). Moduł ten symuluje działanie urządzeń pokładowych, z którymi współdziała agent (prędkościomierza, radaru, radia).

Moduł wizualizacyjny, który jest interfejsem do programu. Dzięki niemu możemy obserwować jak wygląda proces symulacji. Widzimy jak samochody poruszają się po drodze, jakie dane przetwarzają agenci w poszczególnych pojazdach, jakie podejmują działania. Dzięki temu modułowi mamy ciągłą kontrolę nad parametrami symulacji, możemy symulować zachowania kierowcy (np. inicjując manewr wyprzedzania) oraz zmieniać warunki symulacji (np. zmieniając wariant z drogi zwykłej na autostradę).



Rys. 3. Współdziałanie pojazdów na drodze o rozdzielonych kierunkach ruchu.

Dzięki zastosowaniu architektury wielowątkowej, symulator bardzo dobrze odzwierciedla naturę problemu. Każdy agent jest oddzielnym wątkiem i wykonuje się niezależnie od innych oraz samego symulatora środowiska. Wymiana informacji z pozostałymi agentami oraz z symulowanym środowiskiem odbywa się za pomocą dobrze zdefiniowanych interfejsów. Dzięki temu, aby zbadać zachowanie różnych typów agentów wystarczy tylko zmienić kod wykonywany jako wątek agenta. Taka budowa pozwala na łatwe modyfikacje struktury agentów (np. system ekspertowy lub sieć neuronowa), bez ingerencji w pozostałą część oprogramowania symulatora.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Postęp we wdrażaniu układów wspomagających kierowcę będzie zależał od strategii marketingowej wielkich koncernów samochodowych. Koncerny te czerpią zyski z napraw powypadkowych i sprzedaży części zamiennych. Z drugiej strony, są one poddane presji towarzystw ubezpieczeniowych i opinii społecznej domagające się zwiększenia bezpieczeństwa na drogach. Wydaje się, że presja ta znajdująca odzwierciedlenie m.in. w ustawodawstwie będzie sprzyjała wdrażaniu każdego rozwiązania, które w odczuwalny sposób może zmniejszyć lic-

bę wypadków. Należy do nich niewątpliwie omawiany w niniejszej pracy Asystent Manewru Wyrzedzania.

LITERATURA

- [1] Borkowski A., Daniecka D., Gnatowski M.: *Modelling co-operation of mobile robots by means of object-oriented language*, Automation'99, Warszawa, marzec 1999.
- [2] Borkowski A., M. Gnatowski i W. Palacz: *Agent-oriented approach in mobile robotics*, Polish-Japanese Symposium on Intelligent Techniques in Robotics and Decision Making, Kraków, wrzesień 1999.
- [3] Chmielniak A., Dubrawski A., Siemiątkowska B.: *A distributed system for control and management of teams of mobile robots*, Automation'99, Warszawa, marzec 1999.
- [4] Leerink L., Schultz S.R. and Jabri M.A.: A reinforcement learning exploration strategy based on ant foraging mechanisms, *Journal of Theoretical Biology*, 160 (1992), 297-310.
- [5] Malec J.: Implementing teams of agents playing simulated robot soccer, Report of the Department of Computer Science, Lund University, 1999.
- [6] Nwana H. S.: *Software Agents: An Overview*; Knowledge Engineering Review, 11(3), 1996, 205-244.
- [7] Projekt I-Car: <http://futurecar.informatik.uni-bremen.de>
- [8] Shoham Y.: *Agent-oriented programming*; Artificial Intelligence, 60 (1), 1993, 51-92.
- [9] Thorpe Ch.: *Mixed traffic and automated highways*; Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'97), Grenoble, France, June 1997, 1011-1017.
- [10] Wooldridge M. J., Jennings N. R.: *Intelligent agents: theory and practice*; Knowledge Engineering Review, 10(2), 1995.