

СИНТЕЗ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

М.А. Аллес, С.В. Соколов, С.М. Ковалёв

Ростовский государственный университет путей сообщения

Россия, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного
Ополчения, д.2

E-mail: alles@nextmail.ru, s.v.s.888@yandex.ru, ksm@rfniias.ru

Ключевые слова: нечеткая логика, оптические технологии, пространственно-распределенная обработка нечеткой информации, оптический дизъюнктор нечетких множеств.

Доклад посвящен одной из актуальных проблем в области мягких вычислений и систем искусственного интеллекта – нечетко-логическим устройствам и системам управления. Рассмотрены недостатки микропроцессорных устройств, выполняющих последовательную обработку нечеткой информации. Рассмотрен принцип реализации устройств обработки нечеткой информации на основе оптических технологий, позволяющих осуществлять пространственно-распределенную обработку информации. Показаны перспективы применения нечетко-логических устройств и систем управления, использующих пространственно-распределенные оптические вычисления, рассмотрен пример аппаратной реализации – оптический дизъюнктор нечетких множеств.

SYNTHESIS OF FUZZY LOGIC CONTROL DEVICES BASED ON OPTIC TECHNOLOGY / M.A. Alles, S.V. Sokolov, S.M. Kovalev (Rostov state transport university, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolchenia Sq, 2, Rostov-on-Don, 344038, Russia).

Key words: fuzzy logic, microprocessor, optic technology, space distributed processing fuzzy information, optic fuzzy sets disjunction device.

The article is devoted by one of the most important problems in the field of soft calculations and artificial intelligence systems – fuzzy logic devices and control systems. Disadvantages of the microprocessor devices executing the successive processing of the fuzzy information are considered. One of principles of implementation of processing devices of the fuzzy information on the basis of space distributed optic technologies of processing information is considered. Application perspectives of fuzzy logic devices and control systems based on space distributed optic technologies of processing information are pointed, the example of hardware implementation – optic fuzzy sets disjunction device is considered.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время применение нечеткой логики для синтеза управления сложными системами является одним из наиболее перспективных направлений прикладных исследований в области управления и принятия решений. Применение нечеткой логики оказывается особенно полезным, когда в описании технических систем присутствует неопределенность, которая затрудняет или даже исключает применение точных количественных методов и подходов.

В области управления техническими системами применение нечеткой логики позволяет получать более адекватные результаты по сравнению с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов управления. Диапазон применения нечетких методов с каждым годом расширяется, охватывая такие области, как проектирование промышленных роботов и бытовых электроприборов, управление доменными печами и движением поездов метро, автоматическое распознавание речи и изображений [1].

Для эффективной реализации нечетких алгоритмов управления, требующих обработки большого объема информации при малом времени реакции системы управления, возникает задача создания специализированных технических средств, ориентированных на обработку нечеткой информации практически в реальном времени.

Традиционная реализация нечетких алгоритмов управления на основе микропроцессорных средств [2] подразумевает последовательную обработку данных при синтезе управляющих решений (выполнение операций с функциями принадлежности нечетких множеств, логический вывод и т.д.). При большом количестве входных и выходных параметров, большой размерности базовых шкал нечетких множеств, большом количестве нечетких продукционных правил в базе знаний системы управления это приводит к практической невозможности формирования управляющих решений в режиме реального времени.

В то же время применение оптических методов обработки информации [3] позволяет распараллелить вычислительные процедуры в нечетком алгоритме управления за счет использования в качестве носителя информации пространственно-распределенного оптического потока, а также существенно уменьшить время выполнения параллельных вычислений за счет мгновенного выполнения основных операций оптической обработки информации (пространственное умножение, сложение, интегрирование, дифференцирование и т.д.).

СИНТЕЗ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Задача создания специализированных технических средств, ориентированных на обработку нечеткой информации в реальном времени может быть эффективно решена на основе применения методов оптической схмотехники [3], позволяющих обеспечить пространственное распределение вычислений и высокое быстродействие основных операций над нечеткими множествами, на которых базируются этапы нечетко-логического вывода [1], а именно:

- операции пересечения (логической конъюнкции);
- операции объединения (логической дизъюнкции);
- операции дополнения (логического отрицания).

При этом отсутствует необходимость в дискретизации и последовательной обработке всех параметров, характеризующих нечеткие множества, что требуется для микропроцессорных схем и регистровых структур.

Одним из основных концептуальных моментов применения оптических (или оптоэлектронных) устройств для обработки нечеткой информации является принцип пространственно-распределенного представления функции принадлежности нечеткого множества, показанный на рисунке 1.

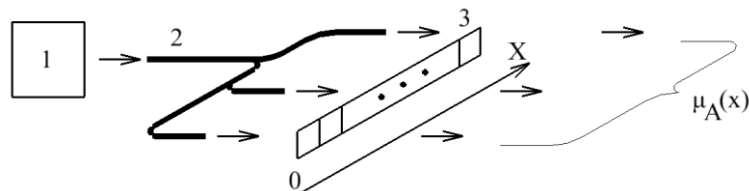


Рисунок 1 - Пространственно-распределенное представление функции принадлежности нечеткого множества

Функция принадлежности $\mu_A(x)$ нечеткого множества A представляется в данном случае в виде плоского пространственно-распределенного оптического потока с выхода линейного оптического транспаранта 3 (рисунок 1), функция пропускания которого вдоль оси OX пропорциональна $\mu_A(x)$. Для этого с выхода источника когерентного излучения 1 оптический поток с интенсивностью излучения n условных единиц поступает на вход оптического n -выходного разветвителя, с каждого выхода которого единичный поток поступает на входы линейного оптического транспаранта 3. Поэтому с выходов линейного оптического транспаранта 3 формируется плоский пространственно-распределенный оптический поток с интенсивностью вдоль оси OX пропорциональной $\mu_A(x)$.

Для иллюстрации эффективности применения оптических технологий при синтезе нечетко-логических управляющих устройств, реализующих принципы параллельных вычислений, рассмотрим конструкцию и принцип действия оптического дизъюнктора нечетких множеств, функциональная схема которого показана в приложении А на рисунке А.1.

Оптический дизъюнктор нечетких множеств – устройство, предназначенное для выполнения в режиме реального времени операции объединения (дизъюнкции) m нечетких множеств A_1, A_2, \dots, A_m и получения результирующего множества A , функция принадлежности которого равна:

$$\mu_A(x) = \text{MAX} \{ \mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots, \mu_{A_m}(x) \}; \forall x_i \in X, \quad (1)$$

где $\mu_{A_1}(x)$, $\mu_{A_2}(x)$, ..., $\mu_{A_m}(x)$ – функции принадлежности, описывающие нечеткие множества A_1, A_2, \dots, A_m элементов соответственно, определенных на базовой шкале $X \in x_1, x_2, \dots, x_k$, где k – количество элементов множеств A_1, A_2, \dots, A_m .

Оптический дизъюнктор нечетких множеств содержит:

- $1_{11}, 1_{21}, \dots, 1_{k1}; 1_{12}, 1_{22}, \dots, 1_{k2}; \dots; 1_{1m}, 1_{2m}, \dots, 1_{km}$ – m групп по k блоков фотоприемников (ФП);
- $2_1, 2_2, \dots, 2_m$ – m источников когерентного излучения (ИКИ) с амплитудой $2 \times k$ усл(овных) ед(иниц);
- $3_1, 3_2, \dots, 3_m$ – m оптических $2 \times k$ -выходных разветвителей;
- $4_{11}, 4_{21}, \dots, 4_{k1}; 4_{12}, 4_{22}, \dots, 4_{k2}; \dots; 4_{1m}, 4_{2m}, \dots, 4_{km}$ – m групп по k оптических амплитудных модуляторов (ОАМ);
- $5_{11}, 5_{21}, \dots, 5_{k1}; 5_{12}, 5_{22}, \dots, 5_{k2}; \dots; 5_{1m}, 5_{2m}, \dots, 5_{km}$ – m групп по k оптических фазовых модуляторов (ОФМ), обеспечивающих постоянный сдвиг фазы оптического потока на π ;
- $6_{11}, 6_{21}, \dots, 6_{k1}; 6_{12}, 6_{22}, \dots, 6_{k2}; \dots; 6_{1m}, 6_{2m}, \dots, 6_{km}$ – m групп по k оптических Y-объединителей;
- $7_1, 7_2, \dots, 7_k$ – k селекторов минимального сигнала (СМС), выполненных в виде СМС, описанного в [4];
- $8_1, 8_2, \dots, 8_k$ – k блоков извлечения квадратного корня (БИК), которые могут быть выполнены, например, в виде блоков, описанных в [5];
- $9_1, 9_2, \dots, 9_k$ – k блоков вычитания (БВ), которые могут быть выполнены, например, в виде блоков, описанных в [6].

Работа оптического дизъюнктора нечетких множеств происходит следующим образом.

На вход устройства поступает m функций принадлежности, описывающих нечеткие множества A_1, A_2, \dots, A_m соответственно в виде плоских оптических потоков некогерентного излучения, распределенных по оси OX с интенсивностями, пропорциональными $\mu_{A_1}(x)$, $\mu_{A_2}(x)$, ..., $\mu_{A_m}(x)$ соответственно. Далее эти плоские оптические потоки поступают на входы соответствующих ФП $1_{11}, 1_{21}, \dots, 1_{k1}; 1_{12}, 1_{22}, \dots, 1_{k2}; \dots; 1_{1m}, 1_{2m}, \dots, 1_{km}$.

При поступлении на входы ФП $1_{1p}, 1_{2p}, \dots, 1_{kp}$ p -й группы по k ФП оптического потока, распределенного по оси OX , с интенсивностью, пропорциональной $\mu_{A_p}(x); \forall x_i \in X$; $X \in x_1, x_2, \dots, x_k$, на выходах ФП $1_{1p}, 1_{2p}, \dots, 1_{kp}$ p -й группы по k ФП формируется k электрических сигналов: на выходе i -го ФП 1_{ip} формируется электрический сигнал в виде напряжения, величина которого пропорциональна $\mu_{A_p}(x_i)$, т.е. значению p -й функции принадлежности для конкретного i -го значения аргумента x_i ($i = 1, 2, \dots, k$; $p = 1, 2, \dots, m$).

Каждый из этих электрических сигналов поступает на управляющий вход i -го 4_{ip} ОАМ p -й группы по k ОАМ.

Одновременно, с выхода p -го ИКИ 2_p оптический когерентный поток с амплитудой $2 \times k$ усл. ед. поступает на вход p -го оптического $2 \times k$ -выходного разветвителя 3_p , на каждом выходе которого формируется оптический поток с амплитудой 1 усл. ед. Таким образом, с первого i -го выхода p -го оптического $2 \times k$ -выходного разветвителя 3_p один из единичных потоков поступает на вход i -го ОАМ 4_{ip} p -й группы по k ОАМ, на выходе которого формируется оптический поток с амплитудой, равной $\mu_{A_p}(x_i)$ ($i = 1, 2, \dots, k$; $p = 1, 2, \dots, m$). Этот оптический поток поступает на первый вход i -го оптического Y-объединителя 6_{ip} ($i = 1, 2, \dots, k$; $p = 1, 2, \dots, m$). Вместе с этим, со второго i -го выхода p -го оптического $2 \times k$ -выходного разветвителя 3_p единичный оптический поток поступает на вход i -го ОФМ 5_{ip} p -й группы по k ОФМ, с выхода которого снимается оптический поток единичной амплитуды, но со сдвинутой на π (инвертированной) фазой ($i = 1, 2, \dots, k$; $p = 1, 2, \dots, m$). Этот оптический поток поступает на второй вход i -го оптического Y-объединителя 6_{ip} ($i = 1, 2, \dots, k$; $p = 1, 2, \dots, m$).

Следовательно, на первом входе i -го оптического Y -объединителя b_{ip} присутствует оптический поток с амплитудой $\mu_{Ap}(x_i)$, а на втором входе – оптический поток с амплитудой 1 усл. ед. с инвертированной фазой.

Так как выход i -го оптического Y -объединителя b_{ip} подключен к p -му входу i -го СМС 7_i , то на p -м входе последнего поступающие с выхода i -го оптического Y -объединителя b_{ip} оптические потоки, интерферируя, формируют оптический поток с интенсивностью $(1 - \mu_{Ap}(x_i))^2$ усл. ед. ($i = 1, 2, \dots, k$; $p = 1, 2, \dots, m$).

Работа СМС 7 описана в [4].

Таким образом, с выхода i -го СМС 7_i снимается сигнал в виде электрического напряжения, величина которого пропорциональна $U_i = \text{MIN}_p \{ (1 - \mu_{Ap}(x_i))^2 \}$, ($i = 1, 2, \dots, k$).

Для последующего описания работы устройства следует иметь в виду, что в силу неравенства $\mu_{Ap}(x_i) \leq 1$ (по определению $\mu_{Ap}(x_i)$), минимум значения функции $(1 - \mu_{Ap}(x_i))$ определен для того же значения аргумента x_i , что и максимум $\mu_{Ap}(x_i)$, ($i = 1, 2, \dots, k$; $p = 1, 2, \dots, m$).

Выходной сигнал i -го СМС 7_i поступает на вход i -го БИК 8_i , работа которого описана в [5] ($i = 1, 2, \dots, k$).

С выхода i -го БИК 8_i , сигнал, пропорциональный минимальному (для всех i) сигналу $(1 - \mu_{Ap}(x_i))$, поступает на вход i -го БВ 9_i , в котором поступивший сигнал вычитается из единицы ($i = 1, 2, \dots, k$; $p = 1, 2, \dots, m$). Работа БВ 9_i описана в [6]. Таким образом, на выходе i -го БВ 9_i формируется электрический сигнал в виде напряжения, величина которого пропорциональна $\mu_A(x_i) = \text{MAX} \{ \mu_{A1}(x_i), \mu_{A2}(x_i), \dots, \mu_{Am}(x_i) \}$ для конкретного значения x_i ($i = 1, 2, \dots, k$).

Т.о. на выходах всех БВ $9_1, 9_2, \dots, 9_k$ - на выходе устройства, формируется вектор электрических сигналов с напряжениями, распределенными по оси ОХ и пропорциональными функции принадлежности $\mu_A(x)$, соответствующей результату операции дизъюнкции (объединения) m нечетких множеств, определяемой равенством (1).

Быстродействие оптического дизъюнктора нечетких множеств определяется динамическими характеристиками фотоприемников, оптических амплитудных модуляторов, селекторов минимального сигнала, блоков извлечения квадратного корня и блоков вычитания. Быстродействие фотоприемников, выполненных в традиционном варианте – на основе фотодиодов, составляет порядка 10^{-9} с. Оптический амплитудный модулятор имеет быстродействие порядка 10^{-12} с. Селектор минимального сигнала, выполненный, например, на лавинных фотодиодах, имеет время срабатывания до 80..100 пс. Блок извлечения квадратного корня и блок вычитания, выполняемые в традиционном варианте на основе операционных усилителей с обратной связью, имеют частоту среза до 1 МГц. Для существующих непрерывнологических систем обработки информации подобное быстродействие обеспечивает их функционирование практически в реальном масштабе времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение вычислительных устройств подобного класса, построенных на основе оптических технологий и использующих принципы пространственно-распределенной обработки информации, позволяет не только получить радикальный выигрыш в быстродействии, но и упрощает конструкцию вычислителя благодаря более простой и быстродействующей реализации элементарных операций над нечеткими множествами по сравнению с микропроцессорными реализациями, описанными в [1].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 10-07-00158-01.

Список литературы

1. А. Леоненков. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб . : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
2. Мелихов, А.Н. Проектирование микропроцессорных средств обработки нечеткой информации / А.Н Мелихов, В.Д. Баронец. – Ростов – н/Д: Издательство Ростовского университета, 1990. – 128 с.;
3. Акаев, А.А. Оптические методы обработки информации / А.А. Акаев, С.А. Майоров. – М.: Высшая школа, 1988. – 236 с.;
4. А.с. № 1223259 ,СССР, 1986. Селектор минимального сигнала / Соколов С.В. и др.;
5. Бобровников, Л.З. Электроника. Учебник для вузов. 5-е изд. / Л.З. Бобровников. – СПб.: Изд-во «Питер», 2004. - 560 с. – стр. 247;
6. Марше Ж. Операционные усилители и их применение. Пер. с франц. / Ж. Марше. –Л.: Издательство «Энергия», 1974. – 216 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

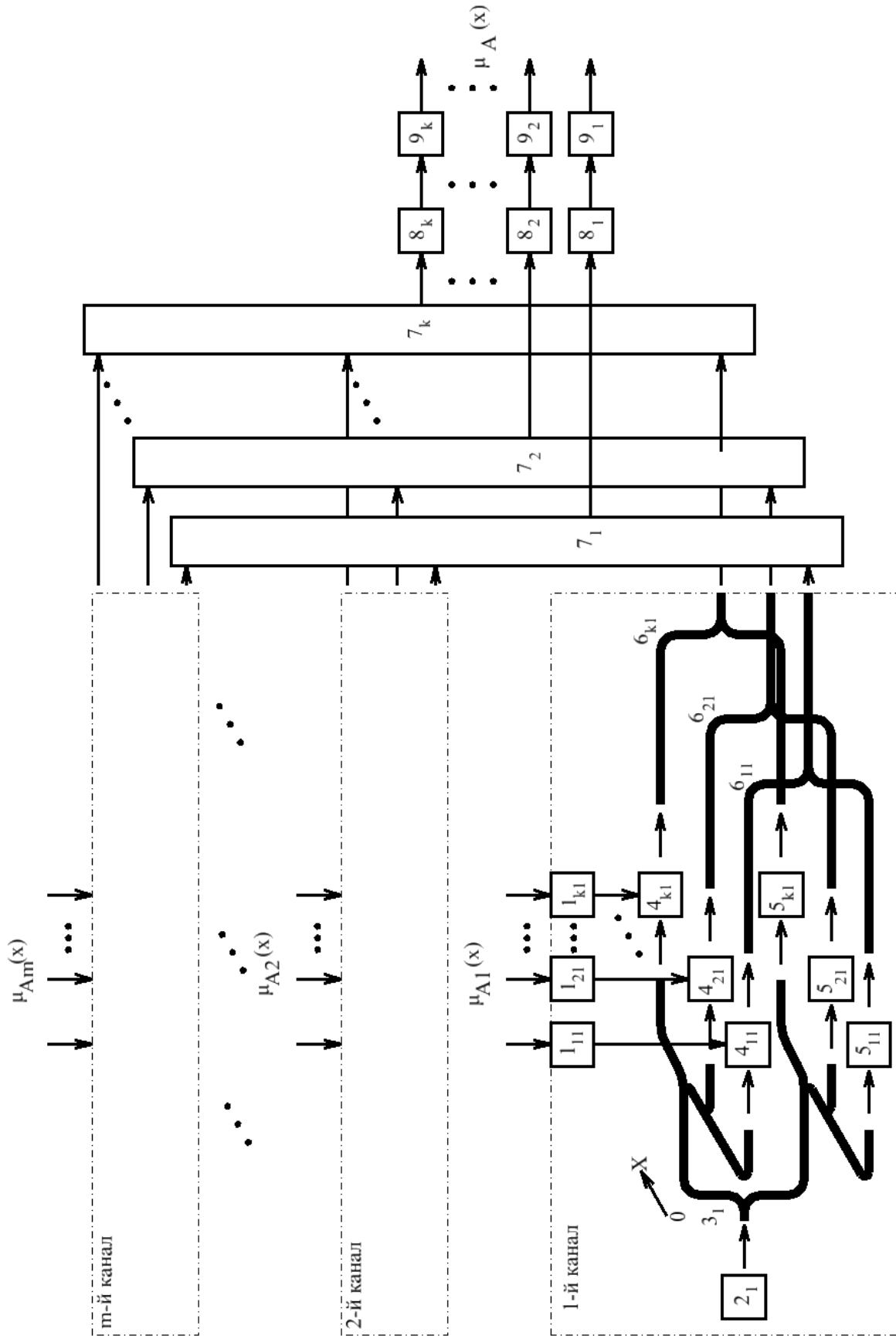


Рисунок А.1 – Оптический дизъюнктор нечетких множеств