**Modified**

*TOO LONG*

**Summarise**

The lecture begins by discussing the fundamental components of negotiation, focusing on scenarios involving two agents aiming to reach an agreement within a specific domain. The negotiation process involves agents with distinct preferences and a mutual understanding of the possible outcomes.

Agents engage in negotiations following predefined interaction protocols, which outline the sequence of actions and exchanges they must adhere to. While these protocols are public knowledge, agents' private preference profiles and negotiation strategies remain undisclosed.

The preferences of agents are often expressed using utility functions, which quantify the desirability of different outcomes. There are two types of utility functions: ordinal and cardinal. Ordinal utility functions rank alternatives, while cardinal utility functions assign numerical values to outcomes, indicating their relative desirability.

Negotiation tactics and strategies are pivotal to the process. Tactics involve heuristics that guide how agents generate offers, counteroffers, and concessions. Strategies like time-dependent, resource-dependent, and behavior-dependent tactics influence agents' behavior during negotiations. Time-dependent tactics consider the negotiation deadline, while resource-dependent tactics factor in resources like available time and alternative options. Behavior-dependent tactics focus on agents imitating their opponent's behavior.

Automated negotiations pose various challenges due to dynamic and distributed environments. Agents often lack complete information about opponents' preferences, attributes, and private parameters. This uncertainty can lead to prolonged negotiations. Learning and reasoning techniques are employed to improve negotiation strategies over time.

The lecture also mentions the Automated Negotiating Agents Competition (ANAC), where research groups develop negotiation agents to compete using the Genius Platform. This competition fosters the advancement of negotiation technologies and strategies.

In summary, the lecture provides a comprehensive overview of multi-agent systems, agent communication languages, and the key elements of automated negotiations. It delves into negotiation protocols, agent preferences, utility functions, negotiation tactics, challenges, and opportunities in the field of automated negotiations.

***Important***

**NEGOTIATION 3, KEY ELEMENTS OF NEGOTIATION**

In a negotiation, we have multiple agents wanting to reach an agreement over some issues. In order for the agents to engage in a negotiations, they need to follow some interaction protocol. There is a publicly available interaction protocol that agents understand and follow.

**PREFERENCES PROFILE WITH ORDINARY UTILITY AND CARDINAL UTILITY**

The preferences profile typically are defined using some utility functions. You can either define your preferences via the ordinary utility functions or a cardinal utility function. We are going to look at ways to express the utility function as a mathematical function.

**MULTI-ATTRIBUTE UTILITY FUNCTIONS**

When we consider multi attributes then typically we are having to define multi attribute utility functions. The simplest way to express the utility functions is using a Linear Additive functions. It is a weighted sum of the utilities over each of the attributes.

**AUTOMATED NEGOTIATIONS**

A buyer and a seller negotiate over the price of a secondhand book. In different cases the negotiations may end up without an agreement. Here are three examples when the negotiations didn't end up successfully.

**NEGOTIATION PROTOCOLS**

negotiation protocols are the set of rules that govern how negotiation takes place. They answer the questions about how many participants are allowed in the negotiation, when does the negotiation finish and the structure of possible agreements. One specific protocol called alternating offers protocols.

**NEGOTIATION TACTICS**

In general, tactics are used by agent to generate the new values for each variable in a counter offer. Popular heuristic based tactics include time dependent, resource dependent and behavior dependent.

**MULTI AGENT SYSTEMS**

In this lecture we learn about multi agent systems and how to design such a system. We learn about agent communication languages we need to deal with agent interaction. We also learn about automated negotiations. Thank you for your attention.

**Original**

Now, we are going to look at the key elements of negotiation. In a negotiation, we have multiple agents wanting to reach an agreement over some issues. Now, in this particular case, we will consider only two agents. But the general case of negotiation, there may be more than two agents. So there could be many agents trying to negotiate to reach an agreement. So these agents will know about a particular negotiation domain, because this is the domain about which they know about, and they try to get some outcomes from this domain, and therefore, they also have the understanding about the outcome set. So, for instance, I'm as a buyer wanting to buy a laptop, then I will know about different kind of laptops, and I know about the prices for the laptop. I will understand things such as warranty of the laptop and so on and so forth. And the same for the seller of the laptop. He or she is also familiar with the domain of these buying and selling laptops. And so he or she knows about different kind of laptops. He or she know about the prices for the laptop, and he or she also know about things such as warranties and so on and so forth. And this understanding about the negotiation domains lead to the set of possible outcomes for the negotiation. So, as a buyer of the laptops, I know that I might buy an Acer laptop with three years warranty at the price of between $1800 to $2,000 and so on and so forth. So with these solved outcomes, now the agents knowing that there may be some other agents who they can negotiate with in order to reach an agreement within the outcome set. Now, let's say that the agents already discover each other. For instance, I go to Harvey Norman and then can negotiate with a person at Harvey Norman, or I can go online and then can connect to an ebay seller on ebay in order to try to buy a laptop from that ebay seller. So now we have agents already discover each other and trying to reach an agreement over this negotiation domain, knowing about the outcome set that they can get the agreement from. Now, given that these agents have certain kind of preference profiles over the outcomes, so as a buyer, let's say that A is the buyer and B is a seller. As a buyer, the buyer will prefer that they will get the best laptop at the cheapest price and at the best warranty condition. The seller, on the other hand, trying to sell laptops, that may not be the best, because if they sell the not so good laptop at a high price, then they can make a lot of money, a lot of profit. And so they also have certain kind of preference. Now, in order for the agents to engage in a negotiation, they need to follow some interaction protocol. So the interaction protocol could be the buyer will engage with the seller asking about a laptop, let's say that an Acer and according to the protocol the seller will provide some description of the item and start describing the Acer laptop and then telling the buyer about its features. So it will inform certain kind of item description and most of the time also inform the price that he want to get from the buyer as well. And then the buyer may just get back with a counter offer for that price and then say that oh, you want to charge me $2,000 but I think that I only want to pay you $1,700. And so the interaction protocol, we define this kind of exchanges between the agents. The interaction protocol is public and so the agents who engage in these interactions will understand and share the common understanding about the interaction protocols. While the preference profiles are private to each agent so only the buyers know what he prefer and only the seller know about what he prefers. So this is private to each of the agents. Now, for the agents to reach an agreement they have the strategies for negotiating and again these strategies is held private by each of the agents as well. So essentially in a negotiations apart from the domain where both agents will have the common understanding about for the negotiation to take place, there is a publicly available interaction protocol that agents understand and follow and then privately held preference profiles and strategy that each agents will have access to. Now let's go to have some understanding about the preferences profile. The preferences profile typically are defined using some utility functions. The agent will use the utility function to measure the relative satisfactions or the desirability of consumptions of a product or service. There are two types of utility functions. You can identify the agent's preference via the ordinary utility so allow the rankings of different alternatives. The kind of ordinary utility typically defy over tins such as colors. So an agents may prefer blue over green over yellow. Another kind of utility function is cardinal utility functions. Now they measure the strength of the preference of a good service and so it provide a numerical value for different alternatives. So for instance, if you use a cardinal utility then instead of saying that I prefer blue over green we may actually have if I get the blue laptop then I will assign a utility value upon eight. If I only get a green one then I only have a utility upon seven. The least preferred option is a yellow one and that gives me the utility upon 65. So you can either define your preferences via the ordinary utility functions or a cardinal utility function. Now, having looked at a different way to express the preferences using different kind of utility functions such as ordinary utility and cardinal utility, we are going to look at ways to express the utility function as a mathematical function that can map from the set of alternative outcomes to a range of numerical values. In this particular case we are going to look at using the cardinal utility functions in order to map from the possible alternative outcomes which is the set C of all alternative outcomes and then the utility function U will map from C to the set of real values. Let's say that between zero and one in order to assign a numerical value for each possible alternative outcome. There are many possible ways to define such a utility function. One of the popular way is to use PiS linear utility functions. So within the possible value for the attribute x data we need to define the utility function within the range. For instance between zero and this value then the linear utility functions defined for the attribute x will be the same for all the values from this range. And then is this line. Now when the value for X going from this range to this range then these become these linear functions from here to here and then for this range and then it become this linear functions going from here to here and then. Now clearly the utility for this value of the attribute X can take multiple value from here to here. And the reason is because the outcome may depends on another attribute that is not show here. On the other hand if you go from this value to these values and then the utility will go the same for this range of values. On the other hand when it go from this range of the attribute x to this range and then the utility will go linearly from here to here and so on and so forth. The linear utility function saying that for this whole range of the value of the attribute x and then the utility will increase linearly from here to here. On the other hand if the utility functions over the attribute x is a concave utility functions then it will have this shape and then with this shape you can see that it is above the linear utility functions. What it say is that for the attribute x the utility value will increase very quickly during the early phase of utility x. So you can see that during these small values of utility X, then the utility will increase very quickly but then at some point it increase slow down significantly. And so it showed that when the value for the HBX during the early phase then utility can increase quick. But then when you have enough value for attributex, then the utility no longer increase that fast anymore. And then even though you can have a lot more in the attributex now, but then the increase is only this much from here to here. While in the early phase getting values for attributex can increase your utility very significantly. The convex utility functions is the reverse of that. So you can see that during the early phase increase in the utility is very small. So you can increase the attribute X a lot, but then you only get very little increase in the utility. But in the later stage of attributex then the gains in the utility can be very significant. And so you can get a lot of gains in utilities when you get into a certain values for attribute X. So these are some of the utility functions that you can use to define the preference of the agents. Now, going back to one of the type of negotiations and you probably still remember that we can negotiate over multiple attributes of the outcomes, not just one single attribute. When we consider multi attributes then typically we are having to define multi attribute utility functions. With multi attribute utility functions we typically have to look at the utility over N attributes. Attribute one to attribute N. The simplest way to express the multi attribute utility functions is using a Linear Additive functions. The Linear Additive functions, we have this form, so it is a weighted sum of the utilities over each of the attributes. So remember that we have N attributes from one to N. And so each of the attributes will have its own separate utility values UI for attribute it and we assign the weight for each of the attributes. So attribute I, we have the weight wi and so we multiply the weight with the utility for the attribute I and then we sum them up together. If we use these Linear Additive functions for the multi attribute utility functions, then the weight indicates how important the attribute is. So if attribute is very important, then you have high weight. On the other hand, if the attribute height is not so important to the agent, then the weight can be quite small. And doing this you allow each issue, each attribute of the outcome to be evaluated separately without any interdependencies between the attributes. So the attributes are not interdependent from each other, they can be evaluated separately. Then the Linear Additive Function utility functions can be used to define the utility in the case of multiple attributes. Now let's look at automated negotiation. Again, in this particular case we are going to look at a very simple bilateral single attribute negotiations. And we are looking at the example when a buyer and a seller negotiate over the price of a secondhand book. So this a book that's already there is going to be sold as ease and the only thing that we are going to negotiate is the price of this book. So in this case we are going to visualize these negotiations in term of the price here so clearly, because we have a buyer and a seller buyer we want to get a cheap price. On the other hand, seller, we want to get a high price. So you can see that the buyer we want to pay as low the price as possible and then up to the maximum price of $50. And typically buyer, we want to start from a very low price, let's say that $30. So they start the negotiations by offering only $30 for the book and they say that I would not want to pay more than $50 for this second hand book. The seller on the other hand, trying to push the price as high as possible. So let's say that the seller may want to start from $60 and the seller doesn't want to take anything lower than $40. These dimensions in these figures showing the negotiation routes. So start from round one and then two, three, four, and then the buyers cannot really proceed more than 25 routes. So this is the deadline for the buyers. On the other hand, the sellers doesn't want to go for more than 30 rounds. So this is the deadline for the seller. So you can see that the reserve price for the buyers RV buyer is $50, buyer will not want to go higher than this reserve price. On the other hand and the deadline for the buyer is R max buyer. So buyer doesn't want to go beyond this deadline, he need to secure the book before this deadline with the seller. Then they have the reserve price of these sellers at $40. So seller does not want to go for lower than $40 and seller also have the deadline R sellers at 30 rounds. So beyond 30 rounds, then seller cannot negotiate any further. So because buyers start from $30 and then does not want to go more than $50. So the range from 30 to 50 is the buyer acceptance range. On the other hand, sellers start from $60 and does not want to go for anything lower than 40. And so that's going to be the seller acceptance range between 40 to 60. And because there is some overlap between the buyer acceptance range and seller acceptance range and so this overlap range is so called agreement range. So any agreement between 40 and $50 can be accepted by the two agents. So the agents start with $30 for the buyers and then the buyers will make the concessions by increasing his offer. And so these so called the concession curve for the buyer and similarly sellers start from $60 and then making the concession by lowering the price. And so this curve here is the concession curve for the seller. So you can see that in this particular case the two agents making concessions. So buyer start with $30 and increase his offers little by little until at some point he get into the agreement range. And same with seller starting from the high price of $60 and then making concession by lowering the price until at some point you also getting into the agreement range. And so in this particular case we can see that by making more and more concession, they actually meet here and reaching an agreement. So this particular case we have the agents following their concession curve and then reaching an agreement here at around $48 and then they actually can reach an agreement before the deadlines because the agreement can be reached at route 24 here before the deadline. However, we may not always such a desired outcome because in different cases the negotiations may end up without an agreement. So for instance, these are the three examples when the negotiations didn't end up successfully, or maybe even though it ended up successfully, it takes a long time and we wasted the time. So in the first case, we have a loss opportunity. The two agents have an agreement range here, but because the buyers finish its deadline and then while the seller sorry. The seller finish its deadline here and then go to this point while the buyer still trying to make the concessions and then beyond the deadline of the seller, the price, the concession that the buyer make is still not sufficient. And so you can see that there's still a gap here and therefore they didn't reach an agreement at the deadline of the sellers. So we have a lost opportunity here. In this case, the seller already gets to his reserve price, so he cannot really lower his reserve price. And the buyer could have get to this price as well, but then because he take a very long time to get to that concession level. And so therefore you can see that in the end, they still reach an agreement here, but they get to route 25. And so that means that they could have saved the negotiation time by reaching that same agreement much earlier at around 15 or 16. And finally, in this particular case there is no agreement zone. So you can see that the seller could only sell it at the lowest price of $50 and the buyer will not pay more than $45. So clearly there cannot be any agreement at all. And so they spend a lot of time in this particular case 30 rounds of negotiations without being able to reach an agreement. So in the end they stop the negotiations and they waste their time because there could not be any negotiation outcome. In this particular case, you can see that mediated negotiation can actually help them to realize that the negotiation outcome cannot be reached and therefore they could have lead the negotiation much earlier without wasting their time. Now that we have look at one simple example of bilateral automatic negotiation on a single issue between two negotiators, a buyer and a seller of a secondhand book, who will negotiate to trade the book on a single issue of the price of the book. Now, it's important to understand that the general negotiation can be a lot more complex than that because they can involve many negotiators, not just two. And the things that are being negotiated can be more than one issue and with multiple attributes work. So because of that, we are going to look into the key elements of negotiations in a systematic way. We start with negotiation protocols. So negotiation protocols are the set of rules that govern how negotiation takes place. They answer the questions about how many participants are allowed in the negotiation, what are the valid actions the participants can perform, when does the negotiation finish and the structure of possible agreements. So when you reach an agreement, what would be the component? What would be the part? What would be the definitions of an agreement and part of the structure of the possible? Agreements allow you to define the kind of messages that are sent between the agents who can send a message and then to whom and at what stage. So let's look into the alternating offers protocol, which is a bilateral negotiation protocol, one on one negotiation protocol. So it is between two agents and for instance, it is between a service consumer and a provider. Now it can be for single issue or multiple issue negotiations and then it contain a sequence of routes. It may or may not have a deadline and the deadline can be public or private and also is follow a negotiation thread. That means there is a sequence of offers and counter offers. Now, when negotiate in an alternating offers protocols, then there are a number of well defined and well studied tactics that are used to generate offers and council offers. And typically there will be scoring functions that can be used to evaluate the offers and the calculus. In this picture you will see the depiction of this protocol. So at the start there will be agents one who makes a proposal. So after the start and then we go into this because one agents will make the proposals. Now agent Two, if considering the proposal and accept it, then the negotiation end with an agreement. Let's say that if agent two reject the offer and then proceed to this state. Now at this stage, because agent Two doesn't accept the proposal from agent One, therefore agent Two need to make a counter proposal. So the counter proposal lead to this one. Now, assuming that agent one accept that counter proposal, then agent one lead to the end stage. End stage because they reach an agreement. Otherwise agent One rejects the counter proposal from agent Two and then we go back to this state where agent one needs to consider to make another proposal to continue the negotiation. Now clearly there will be a state when instead of getting to another round, agent 2 may just decide to reject the proposals and lead to the end state without even making another counter proposal. Or instead of making a proposal for the subsequent round, agent 1 may also decide not to continue with the negotiations and then lead to this end stay as well. So that is another potential end of the negotiation. So that is the protocols and the one that I presented on the previous slide is one specific protocol called alternating offers protocols. Now let's look into the strategies and the tactics that the agent can use in order to generate offer cattle offers and also to decide on whether to accept a proposal from the Order Negotiators. So in general, tactics are used by agent to generate the new values for each variable in a counter offer. And there are a number of negotiation tactics and some of them are based on heuristics. And so the popular heuristic based tactics including time dependent, resource dependent and behavior dependence. With time dependence the negotiations have a deadline and therefore the time is important and because of that the agents will make concessions as they approach the deadline. On the other hand, resource dependence can include also time dependence as well. So that means that the deadline may be one of the factors but there may be also all the kind of resources. For instance, if there are some other agents that can be involved in the same negotiation or all the negotiations, then that can be considered as a kind of resources wall. So with time dependent tactics, because the agent has a deadline and therefore the agents want to reach an agreement before the deadline and with time dependent tactics we also assume that the agent has a reservation value and with this agents can get to the deadline. So this is the deadline, this deadline and this is the deadline following one of the three strategies the consider one, the linear one or the beauware one. So with the linear one there is the simplest one because going from the initial price to the reserve price. So this is the initial price and this is the reserve price. Then the agents just make concessions linearly for every step linearly reduce the same amount in every time step, reducing the same amount in every time step linearly. On the other hand, the consider essentially say that in the early stage of the negotiation the agent will make big concession and then the concession will become smaller and smaller and smaller. And then near the end of the concession of the negotiation, so near the deadline you can see that the concession in each time step become much smaller here. So compared to with this big concession here, you can see that it go from here to here. Now it go only from here to here. So only a very small amount here. Opposite to the consider, we have Beauway in Bulwe. In the early stage of the negotiation the agents make very little concession. So you can see that the price is very close to the initial price. Very close, very close, very close only after a certain point. And you can see that there will be a drop in the price like this one, from here to here. And then the drop become bigger from here to here. And then the drop will become very big from here to here. And then the drop from here to here. So Boware is the opposite to consider because Boston during the early stage of the negotiation and then only when it's getting closer to the deadline then Boar will start making big concessions. So that's a time dependent tactic. With resource dependent tactics then you essentially looking into different kind of resources and so the more resources available to the agents then the stronger the agents have in their negotiations. So for instance, if there are a number of agents who willing to reach an agreement with the negotiating agents then the negotiating agents will have many options. Therefore they have the position to become stronger in the negotiations because there is less pressure to reach the agreement. If I don't reach agreement with you then I can reach an agreement with someone else and then there are many of those one else out there. So if the resource is time then it become a kind of time dependent tactic as well. So resource dependent tactic is more general than time dependent tactic because it can take into account time and all the kind of resources as well. So another kind of heuristic for negotiation is behavior dependent tactics. In behavior dependent tactics we are looking into the agents try to imitate the opponent behaviors. So when the two agents having the difference in the offers so the seller tried to ask for high price while the buyer wants lower price. Now if the seller make big concession then buyer may also make big concession and then seller make very small concession then buyer will also imitate by making very small concessions. So essentially buyers saying that if you are cooperating more with me then I'm willing to show that cooperation as well. But if you try to squeeze out the outcome for your benefit then I will also just keep the negotiations closer to me as well. So in general when you implement tiffota strategy so tick for task is one of the behavior dependent tactics where the agents are performing this tick for task behavior. Then when an agent cooperates with another agent in the first interaction then they essentially just copy what the other agents does. And there are also other kind of negotiations when we have one to one negotiations and those tactics can be used. But when we have one too many negotiations then remember that all the sellers or service providers become a kind of resource to this consumer. So if I not buy in the service from you then I could buy the service from him or from her and therefore the agents have more opportunities to actually have a stronger offer in the negotiation. There are many challenges associated to automatic negotiations. This is a very rich and challenging area of research because the environments can be dynamic and distributed. There are many agents who can come into the environment and you may engage with them to negotiate with them. And some of those can leave the environment because they, for instance, a seller come in and then they have the item that you want to buy, but then maybe they also sell to someone else and then they leave. And therefore this dynamic city and also distributivity of the environment, making the problem much more difficult. Then there is also the issue about the information that the agent has. They typically are limited. And there is uncertainty in such information because the agent doesn't know about the opponents, doesn't know their preferences, doesn't know about what are the attributes that they may consider important or not. Important and not. Know about their reservation values, not know about their deadlines, and also all the private parameters the opponents may have about certain attributes of the negotiation as well. And because of that integrative negotiation is not always possible. Because the agent try to hide their private information. They may not a buyer even though very keen to SEC the aesthetic warranty. But then they will pretend that they are not so keen and then they will say that it is not really important to me, I'm just interested in low price. And therefore the seller didn't know that actually second extended warranty would be a good way to enlarge the pie. And therefore they miss out on such integrated negotiation outcome. And because of such limited and uncertain information, the negotiation can become lengthy because no agents want to make concessions and then they both wasting time now to improve negotiations. Then learning and reasoning become important and learning allow the agents to actually improve their knowledge about the opponents, improve their knowledge about the domain, about the opponent behaviors and so on and so forth. And therefore a number of learning techniques has been considered for automatic negotiations. For instance, basin reasoning and learning, neural networks, reinforcement learning, evolutionary computing. These are some of the techniques that have been considered for learning in negotiations to improve the agents strategies and tactics. So on this slide I just quickly mentioned about if you are doing research in automatic negotiation then there is a competition that helped yearly around the world. So that different groups who develop automated negotiation agents can bring their agents to these competitions and then compete with other group and then try to see whether the technology that they develop is a good one or not. Because they can be benchmarked against all the negotiation agent competitors. And if you choose to look into the ANHC competition, then the current platform that has been used to implement the negotiation agents in order to allow them to be participating in the competition is the Genius Platform. And you can have a look at this platform on the internet and there are many resources related to this platform that you can refer to and help you to get an understanding of that. And if you are keen, I'm very happy to supervise you in a research project to allow you to develop good negotiation agents to participate. In the ANHC competition. So in summary, so in this lecture we learn about multi agent systems and how to design such a system. To design those systems, we consider the issue of agent communication. In particular, we learn about agent communication languages we need to deal with agent interaction, in particular the language they use for the interaction and also the interaction protocols. And we learn about automated negotiations and we learn about a number of key elements in automated negotiation that you need to consider, including the protocols, including the agents preferences and utilities and also the agents negotiation tactics and strategies. Thank you for your attention.